雙 月 刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER



如何做到二〇五〇年全球增溫攝氏1.5度以內？

澳洲氣候政策如同其著火的領土一般失控

日本核電廠除役的最新進展

用1美元的工具對抗空氣污染

德國菲利普斯堡核電廠2號機終止運轉

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER
NO. 182
2020.02 雙月刊

編者的話

2019 年 12 月中旬全球目光焦點都放在西班牙馬德里，27,000 多名各國代表參加第 25 屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會（COP25），我國也派出代表團參與。這次大會雖成效有限，各國難有共識，未能完成巴黎協議規則書最後一塊拼圖，最終還是通過了多項的宣言，要求各國展現更大的企圖心，減少排放造成地球暖化的溫室氣體，以及協助受氣候變遷影響所苦的貧困國家。大會期間，「看守德國（Germanwatch）」公布「2020 年氣候變遷績效指標」，將我國評為全球倒數第 3。就在國內能源轉型進行得如火如荼之際，減排績效被國際組織評比出這種成績，國內各界為之震動。

我國行政院代表團在返國記者會中，環保署長張子敬表示，面對國際社會，台灣是負責任、肯貢獻的真誠朋友，長期以來，我們提供其他國家在公共衛生、醫療保健、農業技術、污染控制等方面的協助與交流，未來也將持續在氣候變遷與環境治理等全球議題上，做出更多貢獻並積極參與，以善盡地球公民的責任。

自 2015 年行政院通過《溫室氣體減量及管理法》，明定我國的長期減碳目標，將在 2050 年將溫室氣體排放量降為 2005 年排放量 50% 以下，也訂出我國國家自主貢獻 (NDC)，將在 2030 年排放量較 2005 年減少 20%。回首檢視溫管法施行 4 年來的經驗，我們勢必需要更多的管制工具及誘因制度，才能在國際間繳出亮眼成績單。

核子科技應用範圍非常廣泛，在我們的生活中除了用做發電的能源，還與各種需求息息相關，大到航向宇宙、潛入深海的核子動力推進器，小到家家戶戶天花板上偵測煙霧的感應器，甚至防制空氣污染，都可以應用放射性物質的特性，造福人類。2019 年 7 月 20 日，是人類登陸月球 50 週年，美國太空人阿姆斯壯所說的：「個人的一小步，人類的一大步。」讓荒漠的月球表面首次留下人類的足跡，意義非凡，並且象徵著人類正式打開探索宇宙的新紀元，所以將每年的 7 月 20 日訂為「人類月球日」。

將目光轉回地球，空氣污染已然成為全人類的歷史共業，國際原子能總署與聯合國糧農組織合作，發明了一個成本不到 1 美元的簡單裝置，可以偵測到肥料中的氮揮發到空氣中成為氨，而形成空氣污染源。同樣利用放射性同位素的特性發揮奇效，不僅可以防制空氣污染，減少溫室氣體排放，還可幫助農民更有效地使用肥料，節省成本又不必花大錢，值得大力推廣。

目 錄

熱門話題

2 台灣氣候變遷績效評比敬陪末座 編輯室
7 如何做到 2050 年全球增溫 1.5℃以內？ 朱鐵吉
10 澳洲氣候政策如同其著火的領土一般失控 編輯室

封面故事

16 登陸月球 50 週年 人類探險的重要夥伴—核能 編輯室

專題報導

22 日本核電廠除役的最新進展 編輯室

科技新知

30 用 1 美元的工具對抗空氣污染 編輯室

核能脈動

33 核電廠拆除與除役扮演的角色 編輯室
36 德國菲利普斯堡核電廠 2 號機終止運轉 編輯室

核能新聞

38 國外新聞 編輯室
41 國內新聞 編輯室

科普一下

42 什麼是「放射性」和「輻射」？(18) 朱鐵吉

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
電子郵件：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：郭瓊文
編輯委員：李四海、陳條宗、郭瓊文、謝牧謙（依筆畫順序）

主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、林庭安、翁明琪
執　　編：長榮國際　文化事業本部
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：臺北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
臺灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告



圖片來源：UN Climate Change

台灣因應氣候變遷績效評比敬陪末座

文 編輯室

第 25 屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會（COP25）終於在一波三折中於 2019 年 12 月 15 日落幕，將近 27,000 名各國代表齊集在西班牙首都馬德里，目的是確定國際碳市場機制的規則和其他形式的國際合作，以敲定《巴黎協議》「第 6 條」—2020 年協議正式實施時需要的規則書內容。

成效有限 各國難有共識

各國與會代表希望向更廣闊的世界發出訊息，說明聯合國氣候變化進程仍然具有現實意義，並且體認到當前的進展與全球限制暖化目標之間的巨大差距。

然而，這次大會中有許多議題最終仍未能達成共識，聯合國秘書長古特雷斯

（António Guterres）表示，他對 COP25 的結果感到失望，「國際社會失去了一個重要的機會，來展現出在緩解、適應和金援氣候危機方面應有的更強大的企圖心。」

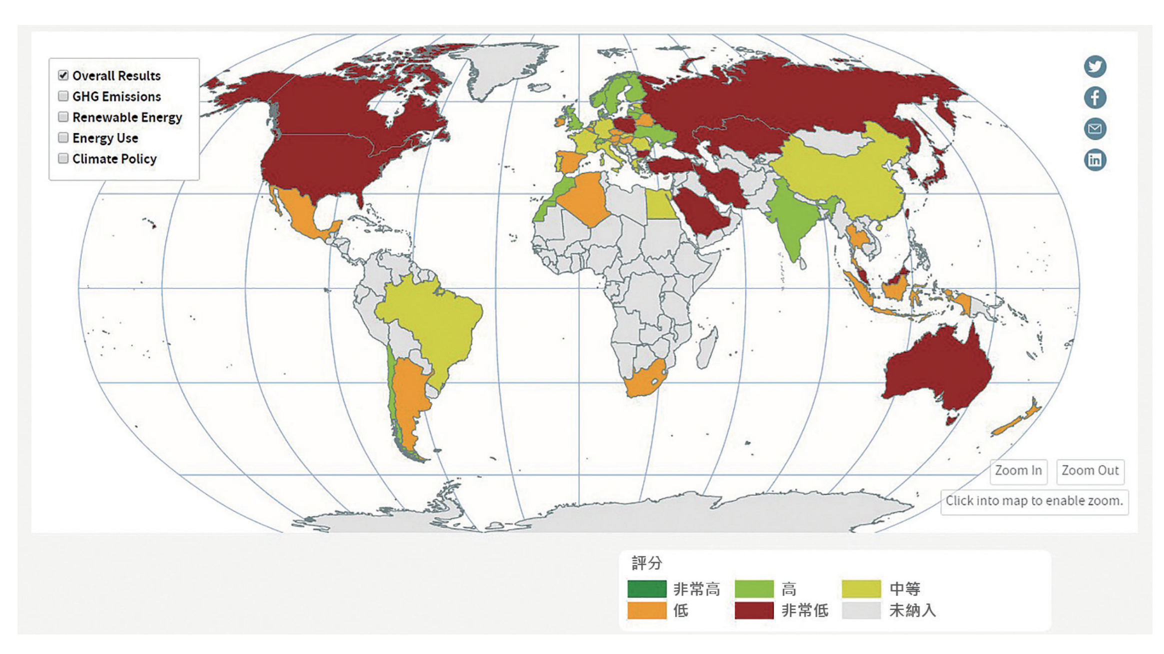
儘管從未期望世界主要排放國在 COP25 上宣布新的氣候承諾，但仍然希望他們能夠集體傳達出對 2020 年的承諾意願。但是，有關技術問題的討論很快陷入僵局，例如碳市場機制的規則，這些問題已經使各國困擾多年。

聯合國環境規劃署（UNEP）在 COP 召開之前發布的排放差距報告顯示，《巴黎協議》的限制增溫攝氏 1.5 度目標「已無法實現」。報告總結說，即使現有的氣候承諾（各國的國家自主貢獻，即 NDC）得以實現，到 2030 年的排放量仍將比實現此目標的要求高出 38%。

各國比一比 氣候保護政策與減碳績效

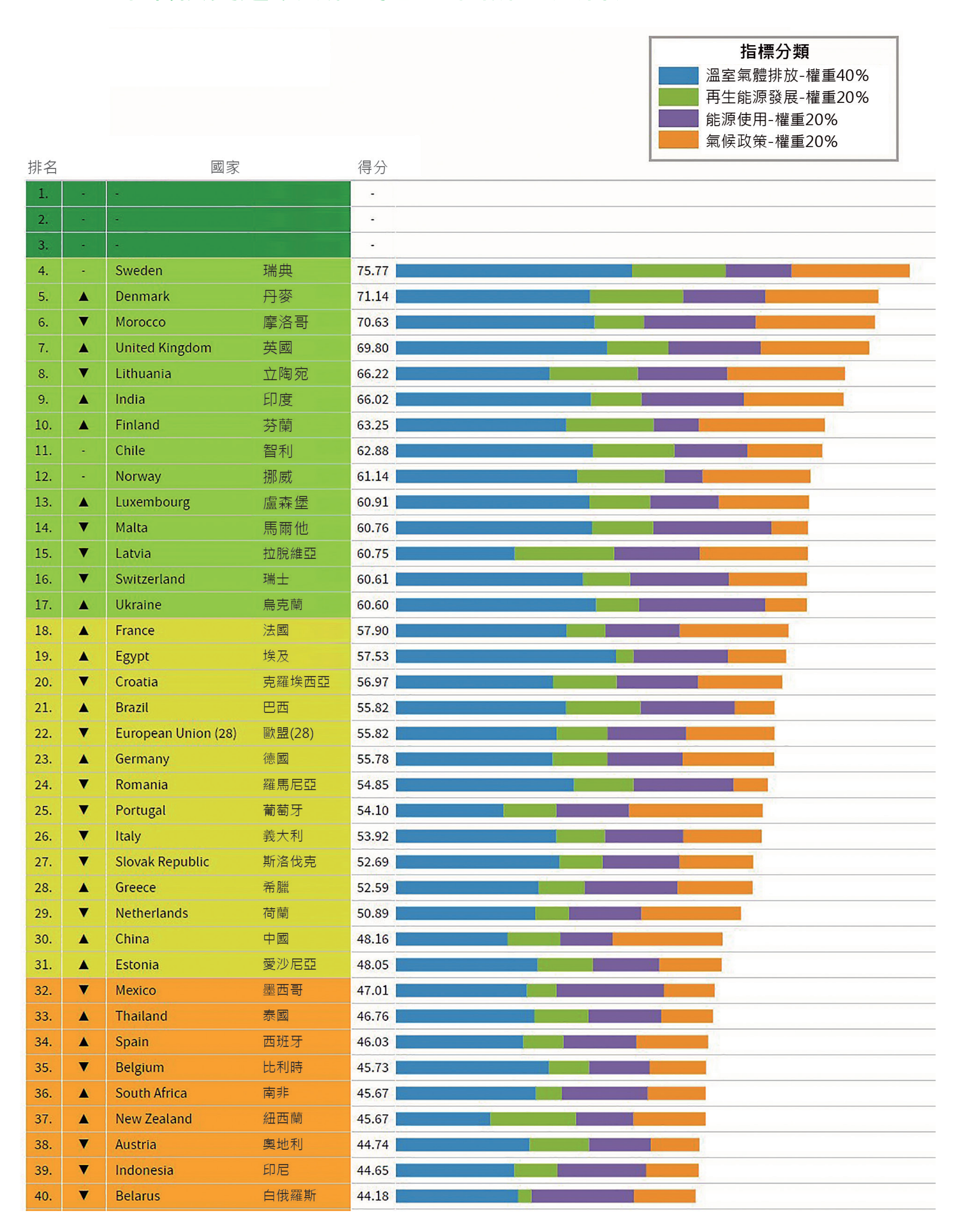
與此同時「看守德國（Germanwatch）」組織在 COP25 上也發布了「2020 年氣候變遷績效指標（Climate Change Performance Index 2020, CCPI 2020）」，顯示全球煤炭消費量下跌，再生能源投資逆勢成長，共有 31 國繳出溫室氣體排放量下降的成績單。

CCPI 是觀察各國氣候保護績效的獨立監測工具，目的在提高國際氣候政策的透明度，並使氣候保護工作和各國取得的進展具有可比較性。根據一個國家在「溫室

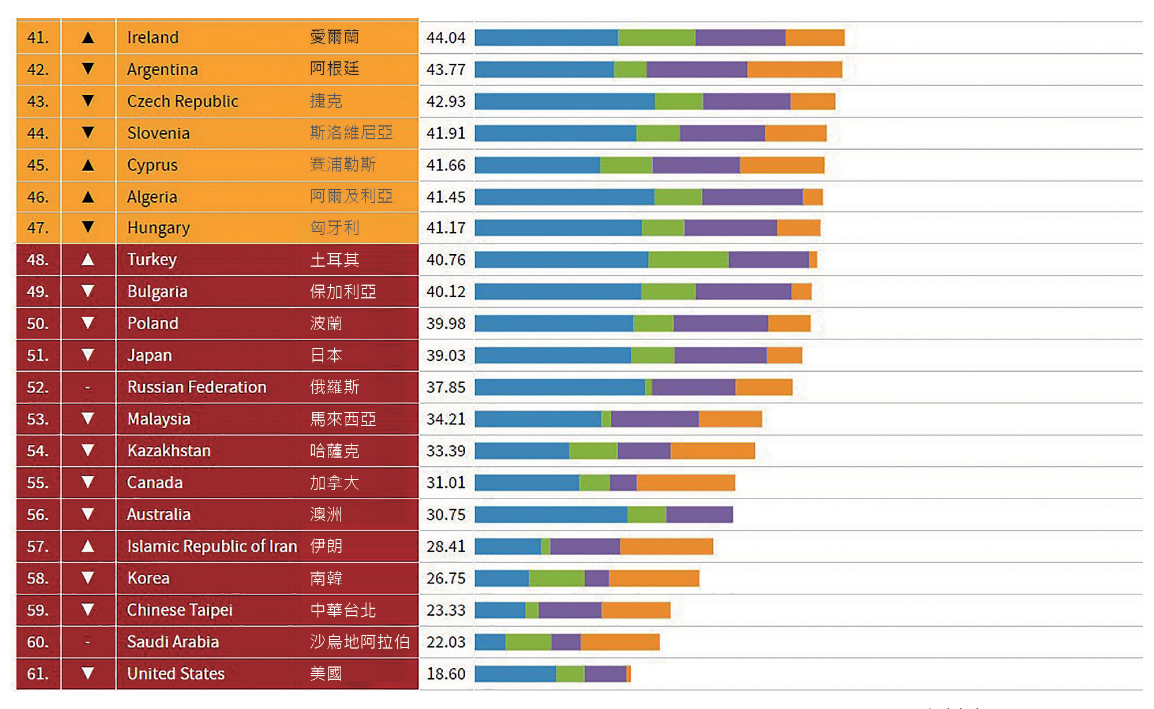


世界各國「2020 年氣候變遷績效指標」的表現（資料來源：CCPI 2020）

「2020 年氣候變遷績效指標」各國排比與得分



排名		國家		得分
1.	-	-		-
2.	-	-		-
3.	-	-		-
4.	-	Sweden	瑞典	75.77
5.	▲	Denmark	丹麥	71.14
6.	▼	Morocco	摩洛哥	70.63
7.	▲	United Kingdom	英國	69.80
8.	▼	Lithuania	立陶宛	66.22
9.	▲	India	印度	66.02
10.	▲	Finland	芬蘭	63.25
11.	-	Chile	智利	62.88
12.	-	Norway	挪威	61.14
13.	▲	Luxembourg	盧森堡	60.91
14.	▼	Malta	馬爾他	60.76
15.	▼	Latvia	拉脫維亞	60.75
16.	▼	Switzerland	瑞士	60.61
17.	▲	Ukraine	烏克蘭	60.60
18.	▲	France	法國	57.90
19.	▲	Egypt	埃及	57.53
20.	▼	Croatia	克羅埃西亞	56.97
21.	▲	Brazil	巴西	55.82
22.	▼	European Union (28)	歐盟(28)	55.82
23.	▲	Germany	德國	55.78
24.	▼	Romania	羅馬尼亞	54.85
25.	▼	Portugal	葡萄牙	54.10
26.	▼	Italy	義大利	53.92
27.	▼	Slovak Republic	斯洛伐克	52.69
28.	▲	Greece	希臘	52.59
29.	▼	Netherlands	荷蘭	50.89
30.	▲	China	中國	48.16
31.	▲	Estonia	愛沙尼亞	48.05
32.	▼	Mexico	墨西哥	47.01
33.	▲	Thailand	泰國	46.76
34.	▲	Spain	西班牙	46.03
35.	▼	Belgium	比利時	45.73
36.	▲	South Africa	南非	45.67
37.	▲	New Zealand	紐西蘭	45.67
38.	▼	Austria	奧地利	44.74
39.	▼	Indonesia	印尼	44.65
40.	▼	Belarus	白俄羅斯	44.18



41.	▲	Ireland	愛爾蘭	44.04
42.	▼	Argentina	阿根廷	43.77
43.	▼	Czech Republic	捷克	42.93
44.	▼	Slovenia	斯洛維尼亞	41.91
45.	▲	Cyprus	賽浦勒斯	41.66
46.	▲	Algeria	阿爾及利亞	41.45
47.	▼	Hungary	匈牙利	41.17
48.	▲	Turkey	土耳其	40.76
49.	▼	Bulgaria	保加利亞	40.12
50.	▼	Poland	波蘭	39.98
51.	▼	Japan	日本	39.03
52.	-	Russian Federation	俄羅斯	37.85
53.	▼	Malaysia	馬來西亞	34.21
54.	▼	Kazakhstan	哈薩克	33.39
55.	▼	Canada	加拿大	31.01
56.	▼	Australia	澳洲	30.75
57.	▲	Islamic Republic of Iran	伊朗	28.41
58.	▼	Korea	南韓	26.75
59.	▼	Chinese Taipei	中華台北	23.33
60.	-	Saudi Arabia	沙烏地阿拉伯	22.03
61.	▼	United States	美國	18.60

資料來源：CCPI 2020

氣體排放」、「再生能源發展」、「能源使用」和「氣候政策」4 大類別，以及 14 項指標的綜合績效來定出排名結果。

CCPI 2020 的結果說明了 57 個受評估國家和歐盟，在氣候保護和績效方面的差異。這次仍然沒有一個國家在所有指標類別中都取得優異成績，無法獲得很高的整體評價。因此，前 3 名再次從缺。

以 CCPI 2020 的綜合排名來看，在今年的指數中，瑞典排名第 4 位，其次是丹麥（5）和摩洛哥（6）。今年 CCPI 倒數的 5 名分別是伊朗（57），南韓（58），中華台北（表中以 Chinese Taipei 稱呼我國）（59），沙烏地阿拉伯（60）和美國（61），這些國家在幾乎所有類別中都被評為低或非常低。美國較去年後退了 3 個名次，首次取代沙烏地阿拉伯，成為今年的最後一名。我國同樣後退了 3 個名次，成為第 59 名，全球倒數第 3。沙烏地阿拉伯今年總算不是墊底，但仍然表現不佳成為倒數第 2。

我國減碳績效全球倒數第 3

根據 CCPI 的記分，我國表現最差的是「溫室氣體排放」與「再生能源發展」兩大類，分別為全世界倒數第 2 與第 4（排名第 60、第 58 名），而氣候政策稍微好

一些，排第 40 名。

這份評比顯示，2017 年我國每人平均溫室氣體排量放為 13.6 噸。不過，我國環保署針對這份報告表示，該組織針對我國情況所引用的數據多有誤謬，若根據國際能源署 (IEA) 公布的資料，我國每人平均溫室氣體排量放應為 11.38 噸。

環保署強調，國際間評比指標相當多，若改以耶魯大學環境法規與政策中心公布的「2018 年環境績效指標 (Environmental Performance Index by Yale Center for Environmental Law and Policy) 」，我國在 180 個國家的總體排名為第 23 名，亞洲第 2 名，僅次於日本。在「氣候與能源」項下，我國更名列第 4 名，除電力部門的二氧化碳排放密集度稍差（第 67 名）外，名次都屬前段班。

我國代表團在「看守德國」組織於西班牙馬德里公布記者會時曾當場反映，強調現行機制對我國不公平，該組織成員同意後續可以合作改進。環保署也願意在 2020 年邀請該組織成員來台，實地瞭解我國在減碳及再生能源推動的實際作為，讓此評分機制未來可以反映現實。

交棒英國 展望下一屆

2020 年是《巴黎協議》的重要里程碑，雖然有些 COP25 未能解決的問題，有機會在 6 月於德國波昂（Bonn）舉行的中期會議上討論，但是許多癥結點還是需要在明年於英國蘇格蘭格拉斯哥（Glasgow）舉行的 COP26 會議上見真章。

現在所有人的目光一齊轉向英國，英國新當選的保守黨政府將承受巨大的國際壓力，除了要制定自己的氣候計畫，同時還要成功的舉辦 COP26。本質上來說，COP26 等於就是實質啟動《巴黎協議》，此外，最引人關注的是英國政府屆時將以脫歐後的身份與歐盟進行談判，是否能達成實質進展，關鍵因素仍然是各國政府的具體作為。

參考資料：
1. https://www.climate-change-performance-index.org/
2. https://www.climate-change-performance-index.org/country/chinese-taipei
3. https://www.carbonbrief.org/cop25-key-outcomes-agreed-at-the-un-climate-talks-in-madrid
4. https://ghgrule.epa.gov.tw/news/news_page/1/287 環保署，不應以不當評比機制，抹煞我國減碳努力，2019/12/12



如何做到 2050 年全球增溫低於 1.5℃以內？

譯 朱鐵吉

2019 年 9 月 23 日召開聯合國氣候行動峰會（2019 UN Climate Action Summit），所發表的報告書指出，溫室氣體排放要達成「2050 年實質零成長」，核能的貢獻是絕對不能少。

聯合國氣候變化締約國會議

2015 年在巴黎召開第 21 屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會 (COP21) 簽署了《巴黎協議》，21 世紀後半時全球氣溫升高應抑制在攝氏 2 度以下，盡可能以不超過攝氏 1.5 度為目標。但是之後各國提出要在 2030 年達到溫室氣體削減目標是不可能達成的；加盟的各國將於 2020 年 12 月召開會議，計畫要求減少削減目標。

2019 年 9 月聯合國特地召開氣候行動峰會，希望提醒各國削減溫室氣體的急迫性，會議中聯合國秘書長古特雷斯（António Guterres）強調氣候變遷的現況已達到緊急狀態，並提出要求溫室氣體排放目標在 2030 年應減少 45%，2050 年應達到實質零排放，共有 77 國表示贊成，特別是歐盟也贊成 2050 年達到這項目標。

年輕人的「週五救未來」運動

實際上，歐美的年輕學生對氣候變遷的急迫性發起了世人矚目的運動，2018 年瑞典少女桑柏格 (Greta Thunberg) 走

出校園，發動「週五救未來 (Fridays for future)」氣候罷課行動，全球超過 100 個國家約有 400 萬年輕人響應，成為史上最大規模的氣候遊行，她並獲選為 2019 年《時代雜誌》年度風雲人物。這一年來，桑柏格應邀到歐洲議會、聯合國大會發表演說，參加第 25 屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會（COP25），並獲教宗方濟各、美國前總統歐巴馬、加拿大總理杜魯道等人接見，還接受許多國際媒體採訪。桑柏格在全球掀起氣候罷課行動的風潮，許多國家的年輕人開始認真研究氣候危機，要求政治人物提出對策。

國際機構相繼發表報告書

2019 年 8、9 月核能相關機構與組織分別提出報告、召開國際會議。國際能源署 (IEA) 2019 年 5 月底以「潔淨能源系統中的核能發電」為題發表的報告書，要求 2050 年達到碳中和 (Carbon Neutral)，強調今後先進國家現有的核能電廠應延長運轉，與建設新電廠的必要性。2019 年 9 月上旬召開年度座談會的世界核能協會 (World Nuclear Association, WNA)，會中國際能源署代表指出：「太陽能和風力等再生能源的電力輸出變動很大，對整體電力供應系統會有影響，核能和水力是穩定的電力來源，在電源的需求上是不可缺的能源。」

WNA：2050 年核能發電目標占比為 25%

2019 年 8 月底 WNA 發表「世界核能發電績效報告，2019 年版」指出，2018 年世界核能發電量為 2.5 兆度，已連續 6 年增加，達到世界總發電量的 10%。2018 年有 9 部新機組開始運轉，2020 年將有 20 部新機組開始運轉，2016 年到 2020 年的運轉增幅已達到 WNA 的預估，但是若要達到 WNA 設定在 2050 年核能發電占比 25% 的目標，則必須大幅增加新電廠的建設。

WNA 的會長指出：「氣候變遷對策的重要性在這一年半已顯得很迫切，2050 年溫室氣體排放要達成實際零成長非常的困難，核能也應參與接受挑戰，政策規劃者對這種情境也必須要重視。」

IAEA：2050 年核能需求 7 億瓩以上

2019 年 9 月 10 日國際原子能總署 (IAEA) 發表「2050 年能源・電力・核能發電的前景展望」，核能對全球發電的貢獻非常重要，今後現有的反應爐需要除役，新的需要建設，兩者相互抵銷，所以對核能開發預測設定為「高標」與「低標」兩種情境。

裝置容量假設為「高標」時，在 2030 年要達成 4.96 億瓩（2018 年現有的核能裝置容量為 3.997 億瓩），需要增加 25%。2050 年要增加 80% 至 15 億瓩。另一方面假設為「低標」的預測：2040 年為 3.53 億瓩，2050 年預測為 3.71 億瓩。

兩者之間的差距，是因為除役和新建數量互相抵銷。目前全世界運轉年數超過 30 年的反應爐已占一半以上，依「低標」的預測，這些反應爐在 2030 年之前有 1.17 億瓩必須除役，新建的只有 8,500 萬瓩。

	目標（億瓩）			除役（億瓩）			新建（億瓩）	
西元年	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2050
裝置容量低標	--	3.53	3.71	1.17	--	1.73	0.85	1.79
裝置容量高標	4.96	--	15	0.68	0.49	1.37	1.48	3.56

IAEA 對 2050 年核能開發預測的情境設定 (資料來源 : IAEA)

而 2050 年時有 1.73 億瓩必須除役，新建的反應爐則為 1.79 億瓩，彼此差距不大。

至於「高標」的預測，2040 年需要除役的反應爐若延長運轉的話，至 2030 年為止除役的「低標」預測，有 4,900 萬瓩會被保留。2050 年為止「高標」的情境是 1.37 億瓩必須除役，2030 年新建的是 1.48 億瓩，2050 年新建的是 3.56 億瓩，除役部分跟新建部分互相比較差距較大。

如此高標與低標的情境差異，「今後世界電力需求增加，核能發電如果沒有擴大使用的話，若要緩和世界氣候變遷的影響，將有困難。」

WEC : 2060 年核能發電量約增加 10 億瓩

世界能源會議 (World Energy Council, WEC) 於 2019 年 9 月 9 日發表「世界能源情境」，未來世界能源的供應，核能將占重要的角色，這份 WEC 的報告書指出，2060 年前能源預測有 3 種情境：

第一，由於技術革新，市場的需求，今後新興國家以及先進國家核能設備的擴大，核能依然是重要的電力來源，但是核能發電量占比會由 2015 年 11% 降至 2060 年的 8.5%。

第二，由於經濟持續的成長，若要實現低碳社會，核能在低碳經濟方面的評估，2060 年須擴大至 13.5%，裝置容量應增加 3 倍為 10 億瓩，前述國際原子能總署以「高標」情境預估，2050 年核能占比 25% 將無法達成。

第三，世界經濟未能大幅成長，各國國內政策要達到高標情境則為：核能占比增加為 12.5%，裝置容量為 70%，增加至 6.96 億瓩。

WEC 表示：「今後世界能源的情境，受到脫碳化、數字化、地緣政治學的變化等多種因素影響變得複雜，核能是非常重要的能源之一，持續的開發對國家能源架構的貢獻極為重要。」這些與能源相關的機構組織預測開發的建議，端視世界各國如何在今後的能源政策中回應。

參考資料 :
東海邦博 ,"聯合國氣候行動高峰會議:溫度上升 1.5℃以下達成に原子力が不可欠", Energy Review, Nov. 2019: Vol.39. No.11, p56-57.



澳洲氣候政策
如同其著火的領土一般失控

譯 編輯室

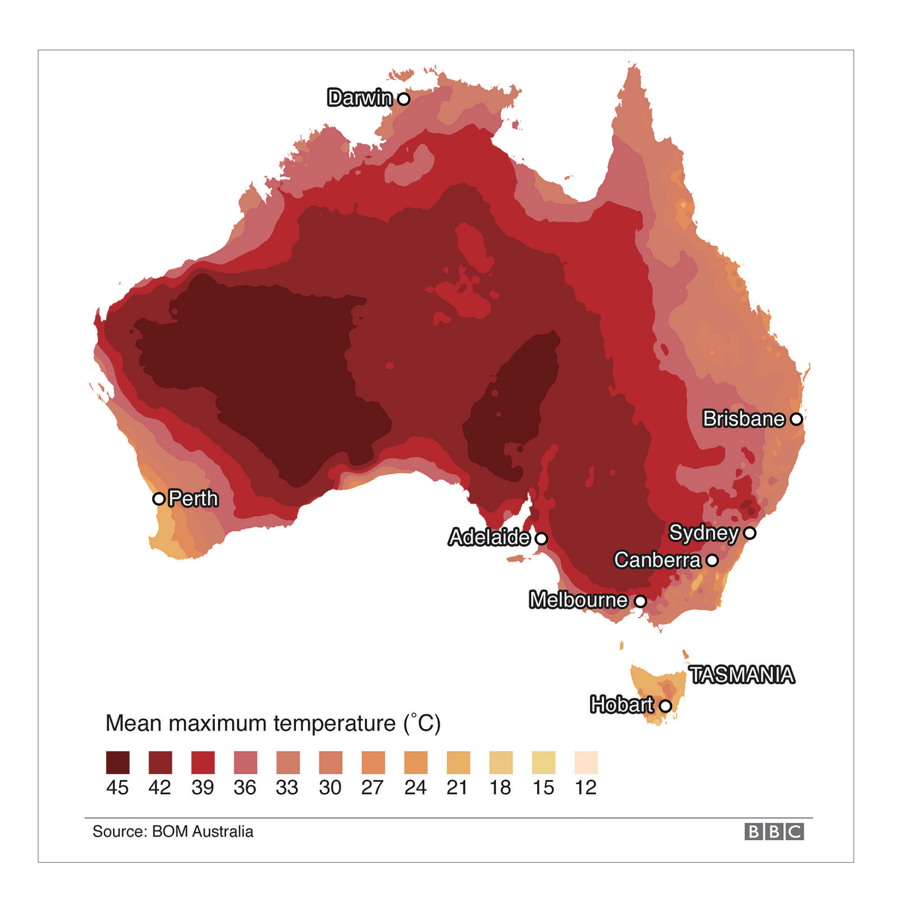
破紀錄的高溫導致澳洲受到超過 100 起森林大火的肆虐，各界專家學者也開始放大檢視澳洲政府在因應氣候變遷並無任何有效的行動，對澳洲政府造成了雙重打擊。

根據路透社於今（2020）年 1 月 7 日的報導，於澳洲東岸新南威爾斯州與昆士蘭州的大火，自去年 9 月開始至今，已延燒了超過 1,000 萬公頃，相當於近 3 個台灣的面積，規模是去年南美洲亞馬遜大火與加州大火的數倍大。澳洲在去年 12 月 18 日創下有記錄以來最熱的一天，全國平均氣溫超過攝氏 40 度，年均溫也達到史上新高，同時也是降雨量最少的一年。隨著澳洲因為政府不適當的氣候政策，還包含在去年 12 月中旬舉辦的第 25 屆聯合國氣候變化大會（COP25）中不願進行協商的聯邦官員代表等，都在國際間飽受批評，澳洲正陷入越來越嚴重的困境。

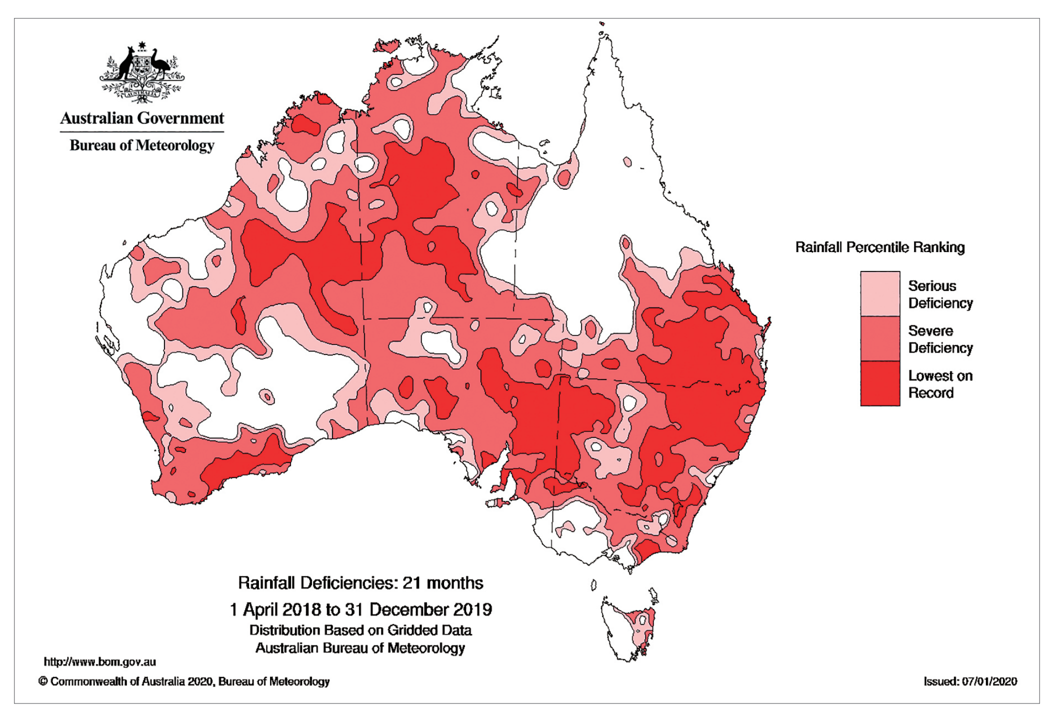
位於首都坎培拉的澳洲研究所（Australia Institute）為澳洲最有影響力的智庫之一，主要對澳洲國家環境、經濟與社會等相關的公共政策進行研究。該研究所的氣候與能源計畫負責人梅齊安（Richie Merzian）在這次的大會結束後表示「這次的會議結果令人非常失望」。由於大會在結尾時陷入僵局，無法達到各締約國均妥協的結果，原訂在 12 月 13 日結束的會議延後至 15 日上午才結束，大部分的締約國都將「降低二氧化碳排放」等主要計畫的決定權，留到下一屆的氣候大會討論。梅齊安對此公開抨擊澳洲政府，「澳洲正遭受大火侵襲，就其嚴重性與持續的時間來看，野火顯然與氣候變遷有關，但澳洲並未挺身而出呼籲全世界應採取更有效的氣候行動，反而是遊說大家盡可能地少做。」

會後聯合國秘書長古特雷斯（António Guterres）也在社群網站上發文，表示他對這次的會議結果感到非常失望，「但我們絕對不能放棄，我本人也不會。」

於雪梨新南威爾斯大學擔任氣候模型師的皮特曼（Andy Pitman）指出，野火在澳洲會隨著季節自然發生，但由於氣候變遷導致越來越炎熱、乾燥等的條件，增加了火災發生的頻率與嚴重性。皮特曼還說，「氣候變遷導致大氣中更多的二氧化碳排放，將



澳洲在去(2019)年寫下史上最熱的紀錄(圖片來源:BBC)



澳洲過去 21 個月面臨到大面積降雨稀少的困境，尤其是東岸的新南威爾斯州，其中一些地區 (深紅色處) 的降雨量甚至是有史以來最低 (圖片來源：澳洲氣象局)

增加森林大火的風險，兩者之間的關聯已是毫無爭議的事實。」「若在其他條件一樣的情況下同樣發生火災，今日的大火絕對會比 20、30 年前發生的情況還要嚴重。」

雖然樹木會隨著其成長來吸收二氧化碳，在地球上碳循環扮演著不可或缺的角色，但研究顯示，當植被面臨枯竭時（例如在炎熱乾燥的夏季月份），所增加的二氧化碳將成為野火額外的燃料來源。

燃燒化石燃料等人為活動，釋放溫室氣體至大氣中，熱能因此被困住無法散出，導致地表溫度上升。澳洲氣象局在 2018 年發布的國家氣候報告中指出，自 1910 年以來，澳洲的氣溫已上升了超過攝氏 1 度，導致發生極端高溫現象的頻率上升。皮特曼說，熱浪再加上乾燥等的條件下即是引發野火的危險要素，尤其目前的情況特別嚴峻且前所未見，「我認為我們以前從未見過如此規模的森林大火」；數十名前任與現任消防隊長也形容這次的野火「史無前例」，新南威爾斯州消防局局長費茨西蒙斯（Shane Fitzsimmons）甚至也承認「這絕對是史上最糟糕的一次」，必須撤離受到大火延燒嚴重地區的居民。

而這些野火除了大規模的摧毀森林、房舍，在燃燒的過程還釋放非常大量如黑碳（Black carbon）與細懸浮微粒（如 PM2.5）等的懸浮粒子、一氧化碳、二氧化碳、碳氫化合物與氮氧化物至空氣中，

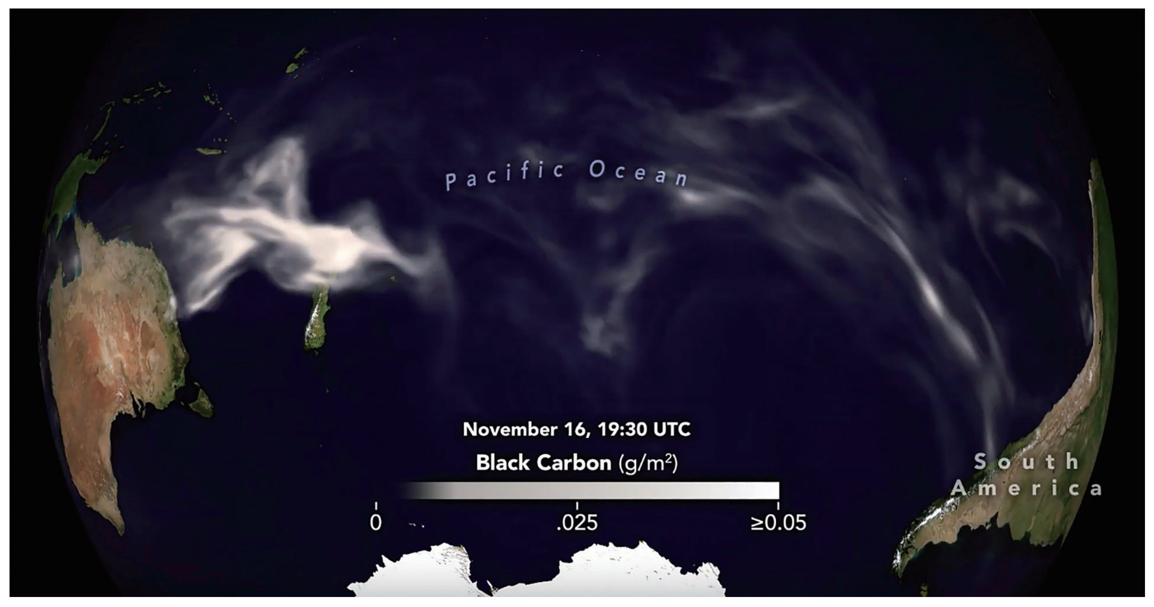
其中黑碳對人體與動物的傷害特別大，懸浮微粒直徑小於或等於 2.5 微米的被稱為 PM2.5，屬於氣膠（Aerosol）的黑碳的直徑小到僅介於 0.01-0.05 微米之間，可輕易的進入肺部與血液中。雪梨、坎培拉、墨爾本等澳洲東岸最大城市的空氣中大量瀰漫著這些物質，空氣品質糟到令人窒息。

根據美國航太總署（NASA）公布的影片，澳洲大火產生的濃煙不只飄散至 1,600 公里外的紐西蘭，甚至還到半個地球外的南美洲，距離超過了 17,000 公里！NASA 也估計澳洲大火已排放 2.5 億噸的二氧化碳，幾乎是該國年均排放的一半。

所有的這些現象重新喚起各界對澳洲總理莫里森（Scott Morrison）的關注，然而莫里森卻拒絕回答有關氣候變化及其與大火存在聯繫的問題，莫里森所屬的保守派政府也因為其政策與全球暖化的言論受到強烈的反對，澳洲副總理麥可馬克（Michael McCormack）僅表示澳洲大火「自時間開始就已存在」，直接否認大火與暖化有關。皮特曼還說，雖然在州政府間有獲得一些進展，但聯邦政府的表現卻是毫無意願，「政府僅將全球暖化視為一項用來協商或爭論的議題，但這對地球上的人類來說是一個已經存在的風險，如果政府不採取任何行動，情況只會持續惡化。」

在這樣嚴峻的情況下適逢跨年，包含首都坎培拉、位在雪梨郊區的 Parramatta 以及 Campbelltown 在內，澳洲已有多個城市因為禁火令（Total fire ban）取消跨年煙火施放，避免煙火的灰燼引燃更多的野火。

但同樣位在重災區新南威爾斯州的雪



澳洲 (左) 大火所產生的黑碳橫跨太平洋，飄散至 17,000 公里外的南美洲 (圖片來源：NASA Youtube)



澳洲知名景點藍山也遭到野火的侵襲。

梨，即使已有超過 25 萬人連署希望能取消煙火施放，並將經費轉移至救災上，市政當局 30 日在反對聲浪中決定暫停禁火令，照常舉行跨年煙火晚會。雪梨市長摩爾（Clover Moore）於 31 日對媒體解釋，雪梨跨年煙火是全球最受矚目的新年煙火秀之一，「煙火晚會的籌備自 15 個月前就已開始，大多數的經費都已支出，這場煙火秀可為新南威爾斯州帶來 1.3 億澳幣的經濟效益，且大多數遊客都已抵達雪梨，在這個時間點取消煙火對災民來說並無實質助益，我們該做的是透過這場活動來鼓勵各界捐款。」摩爾也表示在 30 日時，澳洲紅十字會就已透過煙火秀募得 200 萬澳幣的捐款，這個數字仍持續攀升，雪梨市議會也會捐助 60 萬澳幣給受災戶。

不過，摩爾也指出「大家都在擔心遍布新南威爾斯州的野火，但我們該注意的問題應是氣候變遷（不是煙火）。」「大量的野生動物死亡，有居民失去家園、有些甚至來不及逃生，消防員在保衛家園的情況下犧牲。我們身處全球最乾燥的陸地，在全球暖化加速的情況下將首當其衝，我們在過去這 10 年間就不斷被科學家警告這些情形會發生，今日的大火對政府來說無疑是一記警鐘，政府必須採取行動，就降低全球碳排放做出有效貢獻。」國際間不少藝人、明星也加入捐款行列，同時呼籲氣候變遷已是「現在式」，澳洲政府需要做出改變。

澳洲目前是全球最大的煤炭出口國，同時也是第三大化石燃料出口國，僅次於俄羅斯與沙烏地阿拉伯。曾擔任澳洲政府氣候談判專家近 10 年的梅齊安對此表示，長久以來這些經濟連結影響了澳洲的能源政策，也受到國際社會的批評，「燃燒煤炭是產生溫室氣體最大的來源，你不能身為全球最大的煤炭出口國，卻不用承擔任

何的責任。」

其實，澳洲前政府（工黨）在 2012 年推出碳稅，在執行第 2 年時，成功減少了近 1.5% 的溫室氣體排放，但這項稅收在當時並不受歡迎，2014 年政黨輪替、自由黨上任後遭到廢除，現任總理莫里森更是出名的煤炭擁護者。莫里森在去年 12 月底澳洲大火惡化、新南威爾斯州進入緊急狀態時，被澳媒披露至夏威夷度假就已受到各界抨擊，發表聲明道歉後雖提早結束假期回澳，但一回來卻在訪談裡替國家煤炭產業進行辯護，「澳洲有在採取行動對抗氣候變遷，但我們不會進行任何輕率、破壞就業或緊縮經濟的行為。」「我不會放棄可為澳洲帶來成千上萬個工作機會的傳統產業」，公然拒絕外界的呼籲。

這次的野火除了重創澳洲經濟，還導致 10 億隻的野生動物因此死亡（或因燒傷瀕臨死亡），其中受創最嚴重的就是澳洲國寶無尾熊，當地的生態已面臨到危機。此外，澳洲還擁有世界上規模最大的熱帶珊瑚礁群—大堡礁，對澳洲來說是價值高達數 10 億澳幣的資產，但由於全球暖化造成的海水升溫，大堡礁的珊瑚也正逐漸消失。作為《巴黎協議》的其中一個締約國，澳洲與其他 187 個國家一同承諾將於今年實現減碳目標，但目前仍很難對澳洲的發展方向感到樂觀。



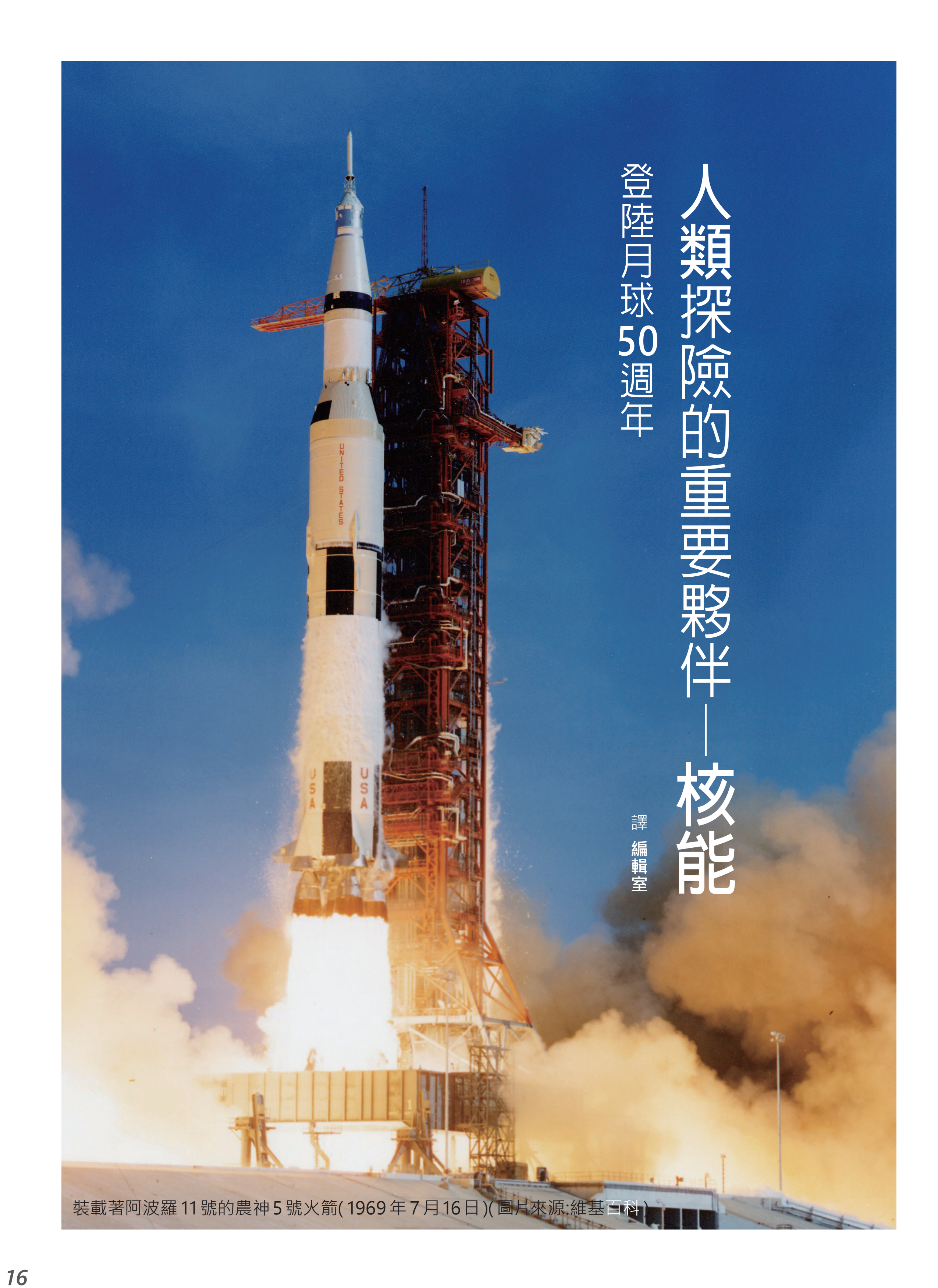
澳洲國寶無尾熊在這次野火中死亡無數，成為瀕臨絕種的動物。

參考資料：
1. NBC News. “Australia is on fire, literally – and so are its climate politics.”
2. BBC. “Australia fires: A visual guide to the bushfire crisis.”
3. The Guardian. “Sydney lord mayor says climate change is the issue, not New Year’s Eve fireworks.”
4. Discover Magazine. “Smoke from Australia Bushfire Blows Halfway Around the Globe.”
5. Independent. “Australia wildfires: PM Scott Morrison defends coal industry amid catastrophic blazes.”

人類探險的重要夥伴——核能

登陸月球50週年

譯 編輯室



裝載著阿波羅11號的農神5號火箭(1969年7月16日)(圖片來源:維基百科)

50 年前的驚世壯舉

1969 年 7 月 21 日，美國太空人阿姆斯壯（Neil Armstrong）成功登陸月球，在短短的幾個小時內，他和另一位太空人奧爾德林（Buzz Aldrin）在月球表面進行了一系列科學實驗，其中一些實驗是運用放射性同位素加熱器來保護他們，避免受到月球入夜時的酷寒影響。世界核能協會（WNA）資深溝通經理科布（Jonathan Cobb）博士介紹了核子技術在人類重大歷史事件中的特殊貢獻。

「就是這樣；做得好；太棒了；嘿，哇；停下來，停下來！支援 ...」這些話語雖然比不上「個人的一小步，人類的一大步」那麼著名，但阿姆斯壯在 50 年前的 7 月 20 日在月球表面漫步時還說過了這些話。另一位太空人奧爾德林，在月球漫步快要結束時，因時間緊迫，他們匆忙地在月球表面進行了一系列的實驗。

最初的計畫是在阿波羅（Apollo）11 號上進行一整套更複雜的實驗，稱為阿波羅月球表面實驗組合（Apollo Lunar Surface Experiments Package, ALSEP）。這些實驗將由 SNAP-27 放射性同位素熱電產生器（radioisotope thermoelectric generator, RTG）供應電力，將放射性衰變熱能轉換為電能。

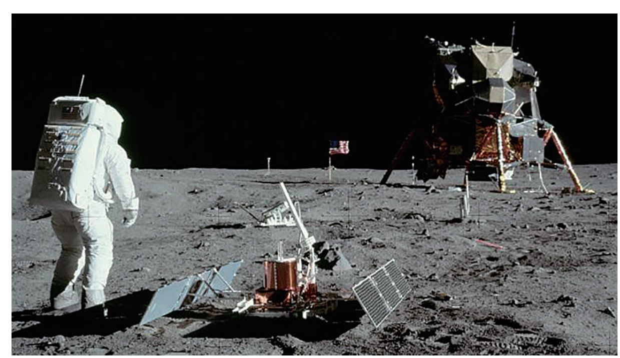
原本規畫是在阿波羅 11 號執行任務期間要進行兩次月球漫步，後來修改為只有一次，預計在月球地表上花費的時間不超過 3 個小時，科學實驗部分只需 10 分鐘即可完成。因此阿波羅月球表面實驗組合需要再簡化，以便在較短的時間內完成布置。

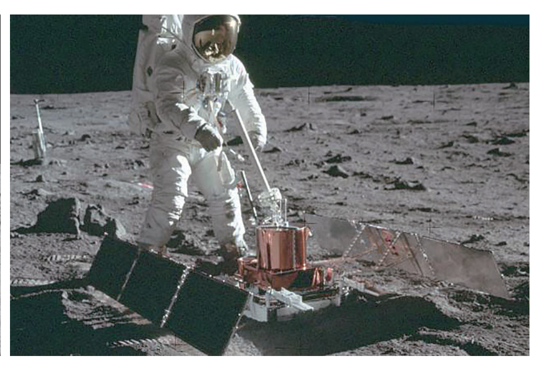
班迪克斯公司（Bendix Corporation）於 1966 年初獲得了開發 ALSEP 的合約，他們提出一套簡化的實驗，統稱為「初期阿波羅科學實驗組合（EASEP）。EASEP 不需使用 RTG 供電，而是由兩個太陽能板供電，因此只能在月球的白天運作。實驗將包括一個被動式地震儀，用來測量月球地殼與內部的地震活動以及物理特性，還有一個用來測量灰塵累積量的月塵探測器（lunar dust detector）。

運用放射性同位素優異特性

夜幕低垂的月球，溫度會降到攝氏零下 175 度，如果沒有防護措施，這組實驗將在極低溫的環境中進行。為了克服這個難題，在被動地震儀的包裝內放置了兩個同位素加熱器（現在通常稱為「放射性同位素加熱器機組」）。兩個 15 瓦加熱器連接到一塊熱板上，希望實驗組件的溫度不要低於攝氏零下 54 度，以確保其所需的可靠性。每個同位素加熱器中心放置了一顆 36 克的鈽 238，其放射性衰變會產生實驗所需的熱能。

由美國原子能委員會（Atomic Energy Commission）所開發的加熱器，是在載有太空人的飛行任務中首次使用的核子技術。每個加熱器的直徑為 7.6 公分、長為 7.6 公分、重量 57 克，包括多重屏蔽和保





(左) 太空人奧爾德林在月球表面布署了 EASEP (圖片來源 : 尼爾·A·阿姆斯壯 / 美國航太總署)
(右) 在奧爾德林的左腳前方，有一個同位素加熱器。(圖片來源 : 尼爾·A·阿姆斯壯 / 美國航太總署)

護材料。鈽燃料被包覆在多種材料中，包括鉭鎢（tantalum-tungsten）合金、鉑銠（platinum-rhodium）合金、鈦、碳纖維、石墨，以及不銹鋼外層，用做輻射屏蔽、耐熱和抗衝擊。

位在美國新墨西哥州的桑迪亞國家實驗室 (Sandia National Laboratories)，進行了廣泛的安全性分析與測試，以瞭解月球飛行任務若中止，或是發生任何想像得到的事故所產生的影響為何。由航太總署 (NASA)、原子能委員會和美國國防部代表所組成的安全評估小組，完成了一份安全報告，結論是在阿波羅飛行任務期間，任何可能發生的事故情況下，加熱器對一般民眾都不會造成安全方面的問題。

阿波羅 11 號於 7 月 16 日國際標準時間 13:32 起飛，7 月 20 日 20:17 登陸月球，7 月 21 日 02:56 任務指揮官阿姆斯壯登上月球表面；04:25 登月艙駕駛員奧爾德林將科學實驗組合運送到登月艙以南約 17 公尺處，並安裝好設備。當太空人還停留在月球表面時，地面控制傳達命令啟動了實驗，並於 04:40 首次接收到實驗數據。

月球上漫長的一天（譯註：經過科學家計算，月球上的一天相當於地球上的一個月），表示太陽能板必須持續地提供電力，直到日落前幾個小時。8 月 3 日，在月球上的第一天，地震儀記錄了許多事件，科學家認為這些事件似乎代表著地震活動，和（或）附近火山口兩側的岩石滑落。當夜晚降臨時，同位素加熱器便開始了提供熱量以保護實驗裝置的任務。

在下一個月球日（8 月 19 日）太陽升起時，地面控制再次開啟了實驗儀器，同位素加熱器運作成功，EASEP 再次送出實驗數據。它持續運轉到 8 月 27 日，接近月球正午溫度最高的時候，EASEP 停止回應地球管制站的命令，實驗正式結束，不過後續仍收到一些數據。在第 2 個月夜之後不久，發熱板顯示的溫度為攝氏零下

47 度，相較之下，放置於陰影處未受加熱器保護的太陽能板，溫度則為攝氏零下 152 度。

從阿波羅 12 號任務開始則進行了更廣泛的 ALSEP 任務，他們的電力來源都升級到 SNAP-27 放射性同位素熱電產生器，可以更大規模並連續地運作，在最後一位太空人踏上月球表面多年之後，仍能持續送回實驗數據。

放射性同位素加熱器機組和放射性同位素熱電產生器，現今仍繼續為一些非常成功的太空任務提供動力與協助，包括火星登陸車和發送至木星、土星、天王星、海王星和冥王星的太空探測器，它們送回的圖像和其他數據擴大了我們的視野與理解程度，使我們對宇宙充滿了驚奇。

航向宇宙的無限可能

美國航太總署署長布里登斯廷（Jim Bridenstine）於 2019 年 8 月 20 日表示，美國將研發下一代核子熱能推進技術（nuclear thermal propulsion），利用核分裂反應所產生的熱能推動航空器，估計最快可以 3 至 4 個月抵達火星，比最快的傳統化學動力航空器大約快一倍。

美國曾於 20 世紀的 50 年代到 70 年代期間，研製核動力引擎，以增強火箭運載能力，為登陸火星做準備。但在美國放棄登陸火星後，此計畫也於 1972 年喊停。

2019 年 3 月底，美國副總統彭斯提出 5 年內讓美國太空人重返月球，這一時間表比航太總署的原計畫提前了 4 年。布里登斯廷隨後表示，將重返月球的計畫提前到



左起：阿姆斯壯、科林斯、奧爾德林 (圖片來源：維基百科)



核子動力破冰船 Yamal (圖片來源 : 維基百科)

2024 年的目的，是為了在 2033 年實現登陸火星，使得核子熱能推進等新型推進技術再次受到關注。2019 年 5 月 22 日，美國國會批准了航太總署以 1.25 億美元預算用於開發核子熱能推進技術。

人類畢生都在追求極致的航程，除了外太空，對於海洋以及海平面以下的深海地區，人類也是充滿了探索的慾望，更是世界強國意欲展示霸權的領域。

核子動力破冰船

破冰船是一種專門用於在結冰的水面上開闢航道的特種船舶，主要特點是船體寬（縱向短，橫向寬）、船殼厚、馬力大，且船體各區域設有不同的壓水艙，動力多採用對稱的多軸、多螺旋槳配置。破冰船主要的工作方式，是透過大馬力的推進以及特殊設計的船首駛上冰層，以船首破切冰層進行破冰。

一般這種方法適用於厚度小於 0.5 公尺的冰面，冰層較厚時，將會採用重力破冰法。利用船首破切冰層，並採用船首和船尾壓水艙注水增加自重，如先把船首壓水艙排空，船尾壓水艙注滿海水，船首會翹起，再加大馬力衝上冰面，之後排空船尾壓水艙灌滿船首壓水艙，依靠自身重量壓碎冰面。若需要拓寬航道，就採用依次輪番灌排左右二側壓水艙，使船身搖晃，將冰面擠碎、碰碎。如果遇到大型冰山，以強大推力的動力輸出，推動堅固的船首產生動能撞擊來破冰。

許多高緯度國家都擁有破冰船，例如俄羅斯就擁有多艘大馬力的核子動力破冰船，用於開闢北極航道；俄羅斯也擁有專職的破冰巡邏艦，是武裝軍艦化的破冰船。

全世界第一艘核動力破冰船「列寧號」就停靠在俄羅斯北方的摩曼斯克港，主要負責的任務是在北海航線上的破冰作業、

地區考察、救援行動和引導運輸船等工作。目前這艘已經退役的破冰船搖身一變成為博物館，停泊在摩曼斯克港內，是當地的熱門旅遊景點之一。

坊間還有旅行社規劃搭乘目前世界唯一開放觀光旅遊的核子動力破冰船，前進北緯 90 度的旅遊行程，滿足人們探索北極的好奇心。

核子動力潛艇

1954 年建造完成的「鸚鵡螺」號核子動力潛艇是世界上第一艘核子動力船。鸚鵡螺號曾在沒有補充燃料的情況下持續航行了超過 11 萬公里，其中大部分時間是完全在水面下高速航行。1958 年 8 月，鸚鵡螺號從冰層下穿越北冰洋冰冠，從太平洋駛進大西洋，完成了常規動力潛艇所無法想像的壯舉。此後，美國宣布不再製造常規動力潛艇。

在第二次世界大戰時期使用潛艇的經驗，曝露出傳統的柴／電混合動力潛艇的缺陷：

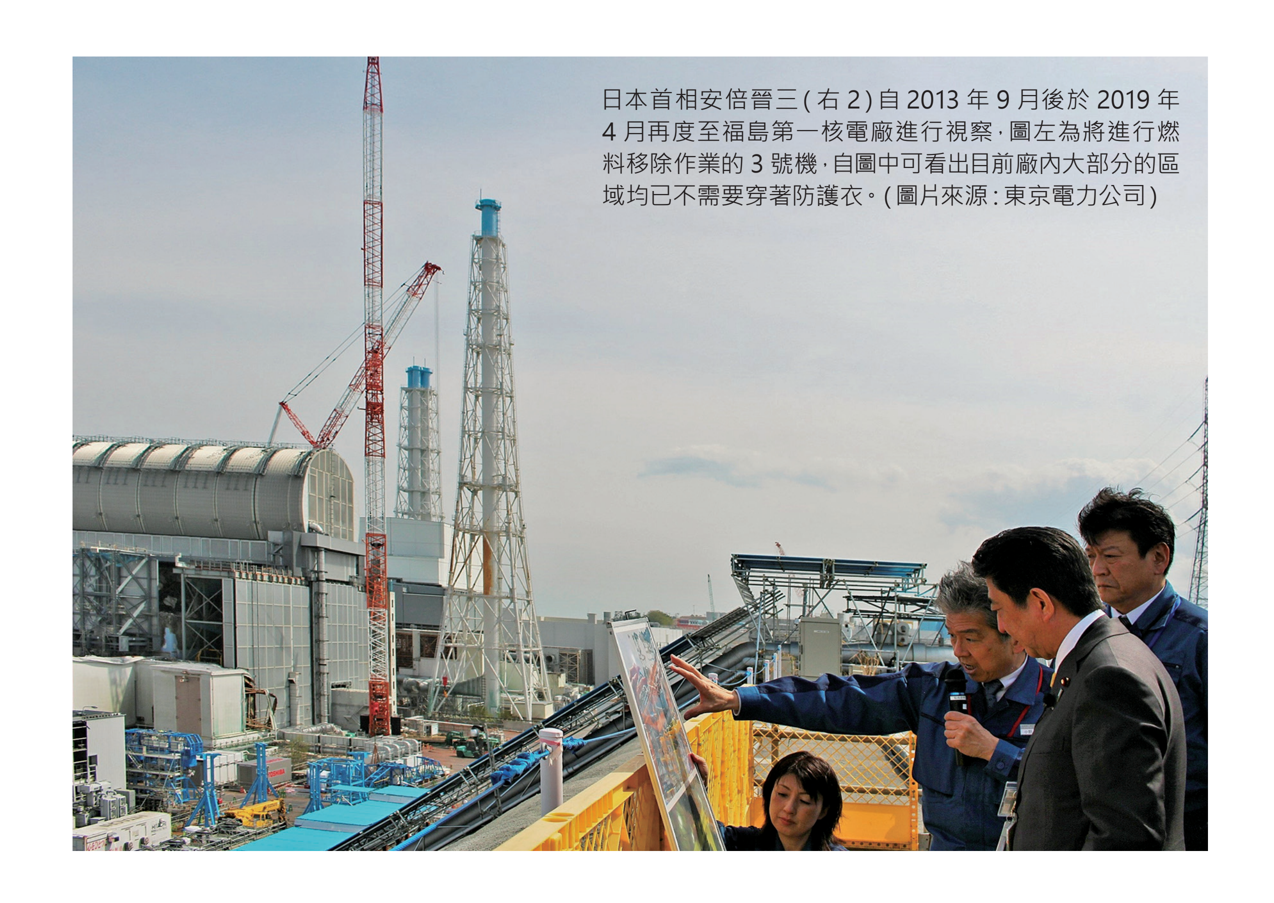
首先是水下續航時間過短。傳統潛艇在水面下由電動馬達驅動，潛航時間受到電池蓄電量的嚴重限制，必須在一段時間之後浮出水面充電，在充電的過程中非常容易遭到攻擊。德國在二戰末期引入了荷蘭研發的呼吸管，但也僅能解決部分需求。

其次是航速，尤其是在水面下速度過慢。傳統潛艇依靠電動馬達輸出的動力，從水面下追隨高速航行的水面船艦幾乎不可能；即使浮出水面以柴油引擎輸出動力，也只能勉強追上航速較慢的水面船艦，而且這樣一來潛艇在海水保護下潛伏作戰的優勢也不復存在。

因此，為了擴大潛艇的戰術價值，大幅提高海面下持續航行的時間，研發替代動力來源，例如核能，一直是潛艇研究的一個重要目標。

註：核子動力（nuclear power），也稱原子能或核能，是利用可控制的核子反應獲得能量，來生產動力、熱量或電能。利用核子反應來獲取能量的原理：當分裂材料（例如鈾 235）在受人為控制的條件下發生核分裂時，核能就會以熱的形式被釋放出來，利用這些熱量來產生水蒸氣，以驅動蒸汽機。蒸汽機可以直接提供動力，也可以連接發電機來產生電能。世界各國軍隊中的某些潛艇及航空母艦多以核能為動力來源。

參考資料：
1. WNN, Viewpoint: Nuclear's small role in humanitys biggest adventure, 2019/07/18
2. 美計畫研發核動力航天器 最快 3 個月抵達火星，新浪新聞，2019/08/22
3. 破冰船，維基百科
4. [巨匠旅遊] 人生夢想正北極 90° N 核動力破冰船 7/16 圓夢出發，旅報，2018/10/22
5. 核子動力潛艇，維基百科


日本首相安倍晉三(右2)自2013年9月後於2019年4月再度至福島第一核電廠進行視察,圖左為將進行燃料移除作業的3號機,自圖中可看出目前廠內大部分的區域均已不需要穿著防護衣。(圖片來源:東京電力公司)

日本核電廠除役的最新進展

文 編輯室

日本在2011年福島事故後，為了防止類似的意外再度發生，制定了更嚴格的核能安全標準，有1/4的核電機組因為經濟或安全等原因無法達標，因此無法重啟。除了東海核電廠1部、浜岡核電廠2部在福島事故前就已開始除役作業的機組之外，在2013年、新制核安標準啟用後已有15部機組宣布除役，加上受到事故重創的福島第一核電廠6部機組，日本商業用機組除役的數量在今（2020）年已邁入24部（加上2座研究用反應爐文殊與普賢則為26部），另外有9部機組至今仍未向管制機構日本原子力規制委員會（NRA）提出重啟申請，也未宣布是否除役，情況未明。

除役計畫申請

根據日本法律規定，電力公司在停止核電機組運轉時應依照管制機構的規定，適當處理機組內部的燃料；核電機組在開始

除役作業前，也必須先向管制機構提出該部機組的除役計畫，待管制機構批准其除役計畫後才可開始執行。除役計畫的內容也必須包含以下項目：

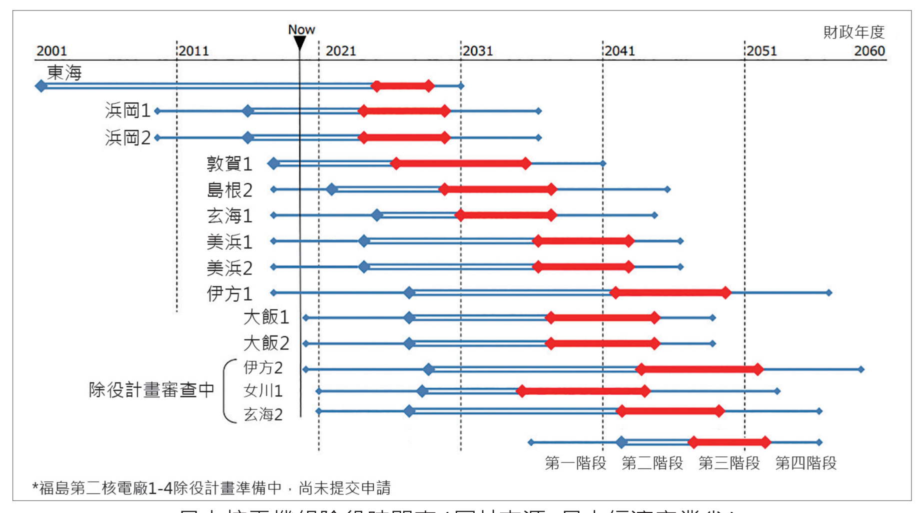
1. 核燃料的管理與移轉；
2. 需要拆除的建物與拆除方法；
3. 受到核燃料污染區域的除污；
4. 放射性廢棄物的管理；
5. 除役程序；
6. 除役期間仍會維持運作的設備的管理；
7. 除役期間工作人員的輻射曝露管理；
8. 除役期間造成公眾輻射曝露的預測；
9. 意外事故以及事故可能對公眾帶來影響的預估；
10. 除役所需經費（金額）與財務計畫；
11. 除役期間的組織架構；
12. 除役期間的品質保證計畫。

而管制機構基於《商用核子反應爐設置與運轉規定》所訂定的「除役計畫核准前提」，需確認電廠營運公司的除役計畫已符合以下條件才有可能給予核准：

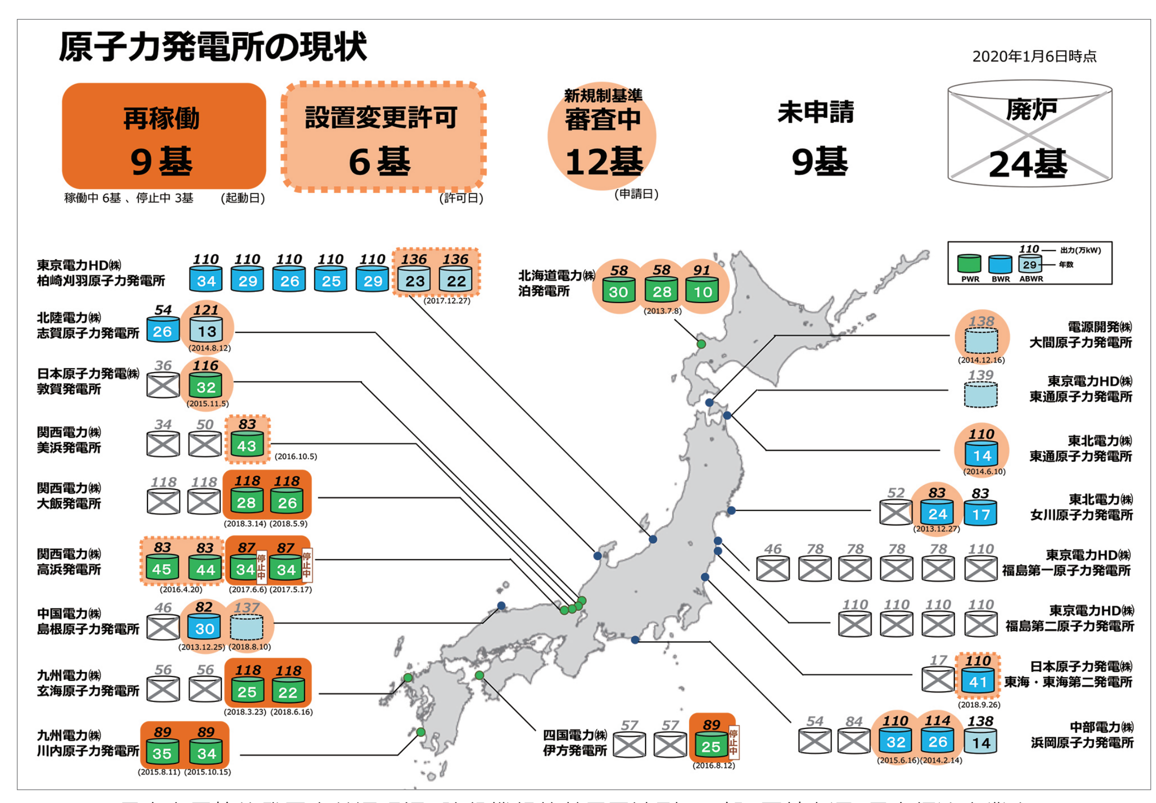
1. 用過核燃料已從反應爐爐心中移出；
2. 核燃料應有合適的管理與移轉計畫；
3. 核燃料、放射性廢棄物應有合適的管理、處理與處置計畫；
4. 對核燃料、放射性物質與反應爐可能導致的災害應有適當的防護措施。

核電廠標準除役過程

待除役計畫獲管制機構批准後，即可開始除役作業。首先，必須先將含有高放射性的用過核燃料，自已終止運轉的反應爐爐心中轉移至可暫時貯存處（如乾式貯存設施或再處理廠）。之後，再進行廠內放射性污染調查，與執行系統除污。而反應爐區域因為放射性強度較高，在除役期間必須先進入5-10年的「安全貯存」期，讓該區域的放射性自然衰減，使執行除役作業的工作人員所接收到的放射性劑量程



日本核電機組除役時間表(圖片來源:日本經濟產業省)



日本商用核能發電廠營運現況，除役機組的數量已達到 24 部 (圖片來源 : 日本經濟產業省)

度，能與運轉期間的運轉人員相同。

將核燃料自爐心移出後，爐心內核分裂反應因此無法進行，可減少大部分的放射性來源，反應爐也會進入「靜止」的狀態，發生事故的風險也會因此消失。

雖然已將用過核燃料移出，但電廠設施內的配管、桶槽內仍有大量的放射性物質殘留，為使後期的廠房拆除工作順利進行，必須使用化學藥品來清理、去除配管及桶槽內的放射性物質，再依序拆除反應爐外圍設備、反應爐本體，與最外圍的建築物本體。處理或處置建築拆除後所產生放射性廢棄物，待完成拆除、放射性強度降至正常後，進行地面復原，最終釋出廠址供再次使用，此為一般核電廠的除役程序。

日本電力公司大多將一般核電廠的除役流程分成 4 個階段，分別是：

I、拆除準備（約需 7 年）

II、反應爐區域外圍設備拆除（約需 12 年）

III、反應爐區域的拆除（約需 7 年）

IV、廠房建築的拆除（約需 4 年）

總共需要 30 年的時間，但由於每部機組的情況不大相同，也有需要 40 年來進行除役的機組。日本經濟產業省（經產省）表示，現在已開始除役作業的機組採用跟運轉中機組幾盡相同的安全規範，未來也將根據除役每階段可能存在的風險進行安

全制度的檢討，以達到將安全擺在第一優先的目標。

目前各商用機組除役現況

日本目前首座、也是唯一一座完成除役階段的大型核子設施，是由當時的日本原子力研究所〔現為日本國立原子力研究開發機構（JAEA），如我國的核能研究所〕負責營運、管理的動力實驗用反應爐（JPDR），該座反應爐同時也扮演著日本除役技術的試驗角色。JPDR 的除役計畫主要分為兩個階段，自 1981 年開始的第一階段為相關技術的研發，1986 年開始拆解、移除反應爐，整個除役計畫至 1996 年結束。

福島事故前僅有日本第一座商用反應爐的東海核電廠（單部機組），在 2001 年開始除役作業，以及浜岡 1-2 號機組，於 2009 年開始除役作業，目前均在進行除役第二階段反應爐周邊設備的拆除。

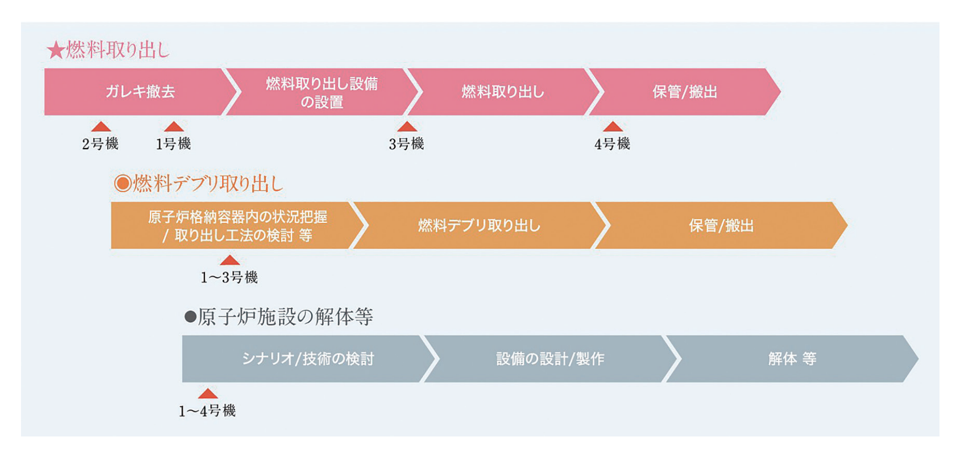
在發生福島事故後，全球使用核能發電的國家都對自身的核安規範進行了檢視與檢討。日本在全面停止核電廠運轉後，於 2013 年 7 月啟用高標準的新制核能安全法規，電廠的設備需要符合新制標準才可以申請重啟運轉。日本各電力公司經謹慎評估後，相繼宣布將除役旗下屆齡 40 年、裝置容量較小的機組，因老舊機組若要達到新制核安標準耗資過甚，不符合經濟效益。

因此，包含 3 部在福島事故前就已決定除役的機組，日本商用反應爐除役的數量目前已累積到 24 部，其中敦賀 1 號、島根 1 號、美浜 1-2 號、玄海 1 號、伊方 1 號以及大飯 1-2 號機組已獲得管制機構的批准。敦賀 1 號已經開始除役第二階段「拆除反應爐周邊設備」的工程，其餘的機組則著手進行除役第一階段的拆除準備工作；已宣布將除役的伊方 2 號、女川 1 號、玄海 2 號機組已向管制機構提出除役申請計畫，目前仍在審核當中。

而福島第一核電廠 6 部機組因屬事故影響機組，除役計畫必須隨著除役過程視情況修訂，東京電力公司與經產省也會定期在其網頁上公布除役現況，供民眾了解。福島第二核電廠 4 部機組同樣經歷了東日本大地震與海嘯，但 4 部機組均未受損，事故後也都進入安全、穩定的冷停機狀態，不過東京電力公司在長時間詳細地進行全方位考量後，還是在去（2019）年 7 月正式宣布該座電廠所有機組仍將除役，目前正在準備向管制機構申請除役的階段。

福島第一核電廠除役現況

2011 年受到 311 東日本大地震重創的福島第一核電廠 1-4 號機組，事故發生時因受到 15 米高的海嘯襲擊，該電廠所設的備用電力設備全數泡水無法使用，導致冷卻水循環系統無法正常運轉。雖然該電廠全部的機組在最初地震發生時均立即自動停機（4-6 號機當時原就處於停止運轉的狀態），但反應爐爐心內的核燃料仍需要冷卻系統正常運作，來防止反應爐發生無法控制的狀態。在冷卻系統無法運轉的情況下，福島第一核電廠 6 部機組中，1-3 號機組出現爐心熔毀的情形，1、3、4 號機組也因為氫爆，導致反應爐建築物頂部及外牆毀損，放射性物質因此釋出，所幸



福島第一核電廠 1-4 號機組除役工程規劃由上自下可分成 3 類，分別為核燃料取出、熔毀核燃料取出，以及反應爐設施的解體拆除，目前僅有在核燃料取出的部分有較明顯的進度，其他都處在了解狀況，與進行工法、技術探討的階段。(圖片來源：日本經濟產業省)

反應爐圍阻體頂部並未破裂，釋出的放射性物質及反應爐受創的程度遠低於 1986 年的「車諾比事故」(因車諾比電廠的反應爐沒有圍阻體結構保護)，但 4 部機組同時發生嚴重事故的規模卻是史無前例，成為日本現今最難、最複雜的除役計畫。

福島事故發生後，日本政府立即下令擬定福島第一核電廠 1-4 號機組的除役計畫，並於 2011 年 12 月底時公布，預計將耗時 40-50 年的時間。然而，因為國內反核聲浪過大，日本首相安倍晉三於 2013 年底決定，將只受到輕微損傷的 5、6 號機組也納入該除役計畫，東電也於隔年 1 月證明此事。經多次修訂後，福島第一核電廠 6 座機組的除役計畫於 2015 年 4 月底正式公布。

1-4 號機組

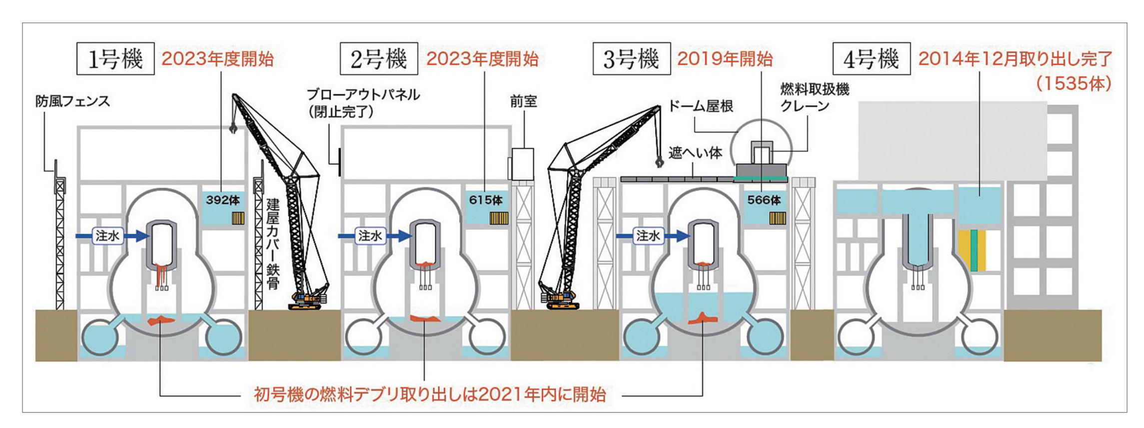
由於 1-3 號機的備用電源被海水切斷，冷卻系統也因此無法運轉，導致反應爐內部的溫度與壓力達到危險等級，爐心因此熔毀；先後於 1、3 號機發生的氫爆，也造成這兩座反應爐廠房受到重創。建築物受損以及爆炸所產生的碎片四散、爐心內熔毀的燃料殘骸混雜著碎石穿透至壓力槽底部，安裝在廠內用來移動核燃料的設備受損，甚至無法使用、前往爐心的路徑被堵住、大量的放射性汙水以及其他衍生的問題等，都反映了這 3 部機組除役的困難度。但幸好東電已成功在最近這兩年先後使用小型機器人接觸、拍攝到 3 部機組內的燃料殘骸，確定了反應爐底部的沉積物情況，將有助於未來的除役作業的執行。

福島第一核電廠 1-4 號機組的除役計畫分成 3 個階段，在穩定反應爐的情況、大幅降低事故再次發生的風險後，先移出各機組用過核燃料儲存池內的用過核燃料(約 2 年)，再移除反應爐心內部熔毀的核燃料殘骸(約 10 年)，以及最後的拆除與其他相關工作至整個除役計畫結束(約 30-40 年)。

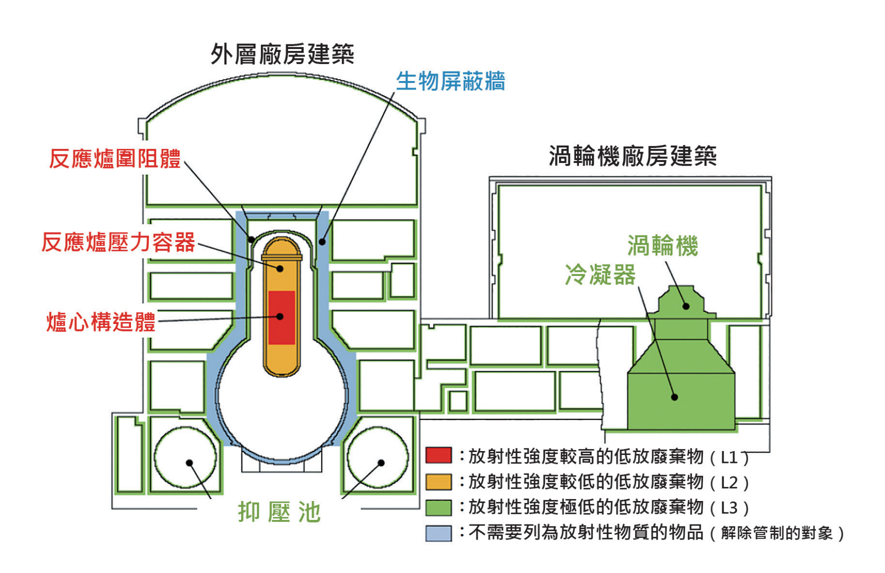
目前僅 4 號機組完成第一階段將機組內用過核燃料池清空的工作，1-3 號機因為損毀程度較嚴重，都尚未完成。其中 1、2 號機仍在清除機組內外的瓦礫，預計 2023 年開始轉移燃料，3 號機則已於 2018 年初完成移出用過核燃料所需要的外罩、起重機等設備的安裝，已於去年開始移出燃料池內的用過核燃料，目前已完成燃料池中共 566 束用過核燃料其中 28 束的移轉。

至於 4 號機則因事故發生時剛好大修、處於停機替換燃料的階段，反應爐爐心內所有的用過核燃料，均已移至該部機組的用過核燃料池（即爐心內沒有任何燃料）。但當時為了裝載新的核燃料，反應爐圍阻體的頂部為被移開的狀態，僅靠廠房屋頂作為與外界的保護，之後因為 3 號機共用管線流竄過來的氫氣因而發生氫爆，導致廠房屋頂直接遭到炸毀。在燃料池儲有超過 1,500 束的核燃料、且輻射外洩的風險比其他部機組大的情況下，東京電力公司決定先從 4 號機開始清理燃料池，並於 2014 年底完工，成功安全的將一共 1,533 束的核燃料自機組內用過核燃料池中移出，至福島第一核電廠內一座獨立用過核燃料共同儲存池與 6 號機的燃料池中，進行安全貯存。

在污水處理方面，福島第一核電廠內設有近 900 座的污水儲存槽，每座可儲存 1,000-3,000 噸經由多重淨化系統處理過的污水，放射性可減少至百萬分之一左右。雖然在處理後可以移除大多數的放射性物質，但唯獨氚在現有的技術下仍無法去除。經產省表示，氚發出的輻射能量其實很弱，也存在於雨水、自來水與大氣中，不管在日本還是其他國家的核電廠，通常都是在有控管的情況下排放至環境（海洋與大氣）中，但這也存在著破壞聲譽的風險，尤其是日本還處於事故恢復的階段。因此，日本政府基於科學與社會的觀點，仍在討論這項議題。



福島第一核電廠 1-4 號機組的除役現況：1-3 號機爐心內的核燃料殘骸將於 2021 年開始取出；1-2 號機將於 2023 年開始清空分別含有 392 與 615 束核燃料的的用過燃料池，3 號機目前正在進行當中，4 號機則已於 2014 年將 1,535 束的用過核燃料，轉移至福島第一核電廠中一座獨立的用過核燃料共同儲存池，以及 6 號機的燃料池中進行安全貯存。（圖片來源：日本經濟產業省）



一座沸水式反應爐經拆解後的低放射性廢棄物分布示意圖(圖片來源:日本經濟產業省)

5-6 號機組

福島第一核電廠 5、6 號機組因為建造的時間較晚，安全系統的等級相對較高，離 1-4 號機也有一段距離。這兩部機組與 4 號機相同，於意外發生時也處於大修階段，反應爐並沒有在運轉，但為了準備重啟執行測試，核燃料已上載至爐心內。不過幸運的是，當 1-4 號機組處於喪失備用電源的狀態下，5-6 號機組設有的一座緊急備用發電機仍維持正常運轉，替這兩座機組的冷卻系統提供穩定電源，以致沒有發生失控的情形。這兩座機組也因為爐心並沒有受損，可用常規的方式來執行除役。

目前兩部機組爐心內的燃料都已轉移至機組內的燃料池進行安全貯存與管理，由於 1-4 號機組無法用正規方法進行除役，很多設備都需要依照實際情況來設計與改良，因此這兩部機組被用來進行遠端控制反應爐建築內除污、反應爐圍阻體內情況調查、移除燃料殘骸的裝置等的模擬試驗，這些工作均與多個研究機構與相關製造廠商一同進行合作與開發。

輻射調查水平持續下降

福島第一核電廠工作人員從需配戴全罩式面罩與防護衣進入電廠範圍，至今僅需在進入反應爐、渦輪機廠房等放射性劑量較高的建築（面積僅占整座電廠不到 5%）前換上，在電廠其他室外區域只需穿戴一般工作服與口罩執行作業即可。目前該電廠內新建的辦公大樓內，就有超過 1,000 名專業技術人員從事除役相關的工作。而在福島事故後電廠工作人員原本只能食用儲存於電廠內的存糧，至今也可在新建的休憩中心享用現煮熱食等，都是事故後至今的轉變。

另外，福島第一核電廠橫跨在兩個市政區大熊町與雙葉町的邊界，事故發生時都

疏散了當地居民，大熊町在去年成為該電廠所在市政區首次解除部分避難指示的地區，但電廠的範圍仍未解除避難指示。

因除役產生的放射性廢棄物

根據經產省的估計，拆除一部大型沸水式反應爐的情況下，所產生的放射性廢棄物數量約是 50 萬噸（屬於高放射性廢棄物的用過核燃料不列入計算），這其中約有 98% 屬於非放射性廢棄物（93%）以及可解除管制的放射性廢棄物（5%），對人類不會有健康影響。

根據日本法規規定，這 5% 的可解除管制廢棄物須通過「解除管制的手續」來檢測廢棄物的放射性濃度。若符合規定標準值進行解除管制後，再依情況視其是否可做為有價值之物品進行「再利用」，或僅能作為工業廢棄物需進行處理，未通過則列入低放射性廢棄物計算。

若上述的 98% 廢棄物都可歸在非放射性廢棄物的類別，拆除反應爐僅會產生 2% 的低放射性廢棄物。這 2% 的低放射性廢棄物，可再依照其放射性由高至低分類成 3 個等級：如控制棒與爐心內構造物等放射性較高的 L1（僅占其中 2%）、反應爐壓力容器的 L2（占 14%），以及水泥塊與金屬的 L3（占 84%），必須依據法規有效謹慎的處理：L1 必須要在地下 70 公尺處進行中深度貯存，L2 則需在地下 10 公尺深的水泥窖式（pit）貯存設施中貯存，L3 在地面開挖的溝渠式（trench）設施中進行儲存即可。

屬於高放射性廢棄物的用過核燃料，則需要在地下 300 公尺深處建設深層地質處置場進行最終處置，但目前仍在找尋合適的地點，並加深與各地居民的溝通，希望能提升國民對最終處置的理解，找到地質合適，也自願接受設置處置場的地區。

結語

核電廠除役計畫以拆除反應爐本體、附屬設備與建築物，並恢復土地原貌為原則，是相當複雜、耗時的工程，整個作業的難度與複雜性不亞於原電廠的興建，需要考量到的因素涉及政策、安全、技術、環保、經濟以及公眾共識等層面，加上各因素間也相互影響，必須事先做好完整、妥善的規劃才可順利進行。日本受到福島事故、核安標準提高的影響，各電廠重啟之路遙遠，除役的規模也因此大幅增加至 24 部，但日本目前只有一座研究用反應爐完成除役，因此仍致力於與美國、德國等已完成多部核電機組除役的國家進行意見交流。經產省表示，日本產官學研將就核電廠除役方面持續合作，以安全為前提，提升日本除役的經驗。

參考資料：
1. 日本經濟產業省《原子力発電所の「廃炉」、決まったらどんなことをするの？》
2. 日本經濟產業省《原子力発電所の解体（一般廃炉）の現状と課題について》
3. 日本經濟產業省《廃炉の大切な話 2019 - 福島第一原子力発電所の今とこれから》
4. 行政院原子能委員會《赴日參加 ANDES 除役訓練課程與參訪浜岡核電廠》
5. 財團法人核能資訊中心《核能簡訊 176 期：日本核電廠最新進展》



用 1 美元的工具對抗空氣污染

譯 **編輯室**

一個製造成本不到 1 美元 (約 30 元新台幣) 的簡單新設備，可以幫助全球減少氨氣排放所造成的空氣污染，同時增加人們獲得食物的機會。

這種小型塑膠工具是由巴西科學家和國際原子能總署（IAEA）與聯合國糧食與農業組織（FAO, 簡稱糧農組織）合作設計的，在使用同位素技術測試、確認了這種工具的準確性之後，現在正在推廣這種工具，以幫助各國監測並且更有效的管理農業與畜牧業的氨氣排放。

氨（NH_3）是氮和氫的混合物，由於肥料和動物糞便分解等原因而釋放的氣體，是農業主要副產品之一；次要來源是一氧化二氮（N_2O），也一種強大的溫室氣體，會加重水污染而破壞生態系統，危害人類健康。

如果肥料使用方式不當，肥料中最多會有一半的氮散失到大氣中，這也將造成重大的財務損失。理解到這些影響之後，重要的是建議農民如何最有效地管理與使用肥料，也可最大程度的提高生產力與收益。

巴西農業研究企業生物學研究中心（EMBRAPA）的土壤科學家烏齊阿加（Segundo Urquiaga）說：「巴西使用的氮肥中，平均有35%以氨的形態散失到大氣中，對環境和經濟產生了重大危害。」

隨著世界人口的不斷增加，對食物的需求也隨之增加。這意味著要擴大畜牧業，且增加對食品生產中合成與有機氮肥的依賴，這也表示氨氣的排放量會更多。預計這種趨勢將在未來10年內持續下去，對人們的健康與環境構成威脅。

巴西等許多國家的專家，正在尋找測量並可減少氨排放至大氣中的方式，目前已經有許多複雜的方法，例如風洞（wind tunnels）、光腔衰盪光譜（cavity ring–down spectroscopy）和微氣象（micrometeorological）技術，但這些方法成本很昂貴，並且需要熟練的技術人員在現場操作。

獨特的新工具

烏齊阿加說：「過去在測量和減少排放的過程一直很費力、費時且相對昂貴。現在這項新技術具有成本效益、快速且可以在任何地方使用。使用這項新技術不僅可幫助農民節省資源，還可減少空氣污染，且有立竿見影的效果。」

這種新工具非常簡單，很容易被誤認為是小學的科學作業。做法是切下大保特瓶的底部，將其覆蓋在打開的瓶口頂部，而形成一個腔室，瓶子的內部有一條細管，從瓶口一直向下延伸到一個小塑膠杯，小塑膠杯是用3個金屬插腳固定在泥土上。管子裡裝有泡沫，這些泡沫是預先浸泡在可捕獲氨氣的酸性溶液中製成，再將此裝置放在要監測的植物或牲畜區域附近，每24小時收集一次泡沫，然後送到實驗室進行分析。

這種獨特而簡單的設備和使用方法的說明是由FAO/IAEA的糧食與農業核技術聯合司、EMBRAPA和巴西巴拉那農學研究所（IAPAR）的科學家們共同創建的。

FAO/IAEA糧食與農業核技術聯合司的土壤科學家與植物營養學家札曼（Mohammad Zaman）說：「此設備可以幫助我們瞭解氨氣的散失，並邁向以智



一個用塑膠瓶製成的簡單工具，可以幫助追蹤和減少農業中的氨氣排放，並可改善糧食安全。（圖片來源：EMBRAPA）

慧解決氣候問題的方案，這項解決方案可以留下足夠的氮來提高植物的生產力，特別是在貧瘠、缺乏氮的土壤中，這可能對食品的生產帶來重大影響。」

此設備可以單獨用於精確測量氨氣的散失，也可以和減少溫室氣體排放與降低環境影響的農業作法結合並用。這些方法包括滴灌系統（drip irrigation systems），肥料與氮加工抑制劑的同步運用，以及固氮豆類作物的輪作等。

簡單但可靠的裝置

這種簡單裝置的最大問題是其結果的可靠性。為了測試這一點，科學家使用一種同位素技術，在肥料中添加氮 15，以追踪、測量和比較塑膠瓶捕獲的氨氣量與排放的氨氣量之間的關係。藉由使用氮氣質量平衡法來測量土壤中氮的含量。由於氨是一種含氮化合物，因此氮 15 可幫助科學家追踪氨氣的散失。

測試結果表明，這種裝置是可靠的，適合追踪一年生和多年生作物所使用的有機與合成肥料，以及牲畜養殖系統中排泄物的氨氣排放。烏齊阿加說：「與傳統的密閉腔室方法相比，這種新方法在測量和監測氨氣方面有非常高的效率，並且精確。」

巴西、智利、哥斯大黎加、衣索比亞、伊朗和巴基斯坦這 6 個國家的專家已經開始使用這種工具。札曼表示，預計這種工具將得到更廣泛的使用，這項計畫的預期成果將在國際科學雜誌的同儕審查特別版中發表，同時，也計畫推薦給政府間氣候變化專門委員會（IPCC），將此工具作為一種適用於全球農業系統的方法，特別是開發中國家。

科學基礎

氮在植物的生長與光合作用中有很重要的功能，植物利用陽光將二氧化碳和水合成養分。氮經常以肥料的形式添加到土壤中，使用標記有氮 15 穩定同位素（與「正常的」氮相比，具有更多帶中子的原子）的肥料，科學家們可以追踪其路徑，並確定農作物吸收肥料的效率，以及包括氨在內等不同氮素的散失。此技術還有助於確定肥料的最佳使用量。



參考資料：
https://www.iaea.org/newscenter/news/fighting-air-pollution-with-a-1-tool

核電廠拆除與除役扮演的角色

譯 編輯室

核電廠拆除與除役（dismantling and decommissioning）業務在核能產業的未來可發揮重要的作用，因為它已經向大眾顯示核子設施是可以安全、永續、及時且具有成本效益的方式，永久關閉。

隨著全球核電廠拆除與除役計畫數量的增加，一流的計畫和創新的商業模式正面臨挑戰，但是機會也隨之而來，這些挑戰和機會可確保對核電廠址的整治，並運用最有效的放射性廢棄物管理工具，而這些市場條件正在改變拆除與除役的型態。

持續不斷的精進

擁有 70 多年的運轉經驗與社會貢獻，全球 600 座早期的核電廠、研究用反應爐與再循環設施中，約有一半已經處於拆除與除役階段，而另一半也將進入此一階段，核電設施的最後階段將是由業主自行負責任地管理。除了按照計畫壽終正寢的停機，在未來 10 年中，全球拆除與除役市場將藉著管理核電廠的關閉而獲得商機。不過，這種商機的增長卻是奠基於政治與經濟的複雜因素。

截至 2018 年 12 月，全球已有 172 座核子設施永久關閉，其中 72 座正在除役，有超過 20 座已取得終止運轉執照。核子設施的關閉在很大程度上是由於全球核電廠的老化，因此，預計到 2025 年將再增加約 70 座機組。對拆除與除役決策過程的其他重大影響，像是國家管制環境、反應爐的特性和營運商的財務狀況等，都會影響拆除與除役的計畫和成本。根據經濟合作暨發展組織核能署（OECD/NEA）的數據，反應爐拆除與除役成本的估計值，每瓩電（kWe）可能相差到 3 倍。

儘管存在這些差異和不確定性，正在執行或已完成的核電廠拆除與除役計畫數量仍不斷增加，這表示技術、設備、程序和技能正在持續提昇。至關重要的是，核能產業界有意識地蒐集回饋與經驗教訓，讓一個計畫進到下一個計畫時能提昇績效。成本、計畫與風險自然變得更可預測，因此也獲得更優異的管控。結果是，現在核電廠的拆除與除役總成本估算越來越趨於穩定。這意味著對於拆除與除役專家而言，今天的經驗是通往明天成功的道路。





拆除作業 (圖片來源 : EWN 公司)

開拓市場的先鋒

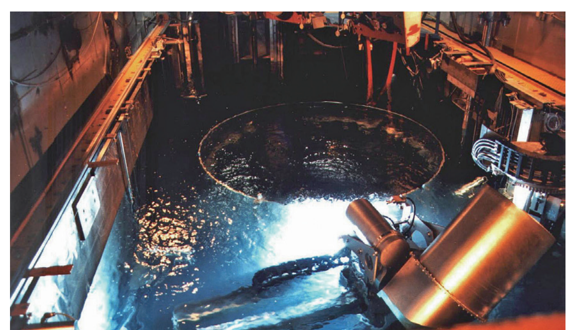
德國和美國是核電廠拆除與除役的先驅，同時也是市場領導者，有許多正在進行或已經完成的計畫。迄今為止，在德國有 27 座核電廠已經停止運轉，處於拆除與除役的階段。其中有 15 個廠址是最終拆除狀態，有 3 個廠址已取得運轉終止許可。在美國，已經關閉了 37 座核電機組，包括 7 座僅剩下獨立用過核燃料貯存設施與 3 座已獲得運轉終止許可的機組。儘管這兩國都有大量關閉的反應爐，但驅動它們的原因 (driver) 和特性卻截然不同。

德國政府對福島第一核電廠事故的因應方式是逐步淘汰核能，並採取立即拆除的除役作法。電力公司採用這種方法的原因是他們越來越關注成本，營運商的方法是盡可能地自己執行，使過渡期間更為順暢，並避免將拆除與除役成本的負擔加諸於民眾。

另一方面，德國國內和國際的拆除與除役專家都加入了這個市場，因此創造出競爭激烈的環境。在這種環境下，夥伴關係非常重要，工作團隊將為流程中的每個步驟提供最佳成本效益，並可最大程度地減少放射性廢棄物處理的數量，這對拆除與除役計畫的績效帶來正面的影響。因為在競爭如此激烈的市場中，德國到 2022 年完成全面廢核政策的豐富經驗，將有助於這些專家將拆除與除役技術帶到國外，並在下一波歐洲與亞洲的核電廠拆除與除役計畫中更具競爭實力。

在美國，由於錯綜複雜的政治、社會和經濟因素，使得拆除與除役的規劃無法穩定受控制，所有這些因素都對最終的每瓩成本產生間接影響。這些參數甚至導致機組停工的計畫被延遲或取消，如克林頓（Clinton）、拜倫（Byron）和菲茲派翠克（Fitzpatrick）等核電廠。根據社會影響程度，美國重新審查這些關閉、拆除與除役的決策，這種態勢也再度引發了關於核能在對應氣候變遷，以及透過就業和稅收促進當地經濟等優勢的論戰。

因此，專家們提出的拆除與除役商業模式是不斷精進的。最近大部分的除役合約都是在一種模式下進行一同時收購核電設

反應爐切割作業 (圖片來源 : EWN 公司)

備以及管理除役，其中包括用過核燃料和放射性廢棄物的管理。經由加速除役、降低成本和風險移轉，這些商業模式越來越吸引眾多電力公司的興趣。即使目前這些解決方案幾乎只適用於美國市場，它們已經在世界各地增強了拆除與除役計畫的執行與產業經驗。最後，這些商業模式證明了拆除與除役專家在資產風險管理方面的成熟度，而這些資產風險早已從電力公司的資產負債表中被刪除了。

創造價值

無論德國、美國這兩個市場領導者在拆除與除役領域的差異如何，他們的經驗都同樣對世界各國的營運績效有助益，並優化放射性廢棄物的管理。德國從 1970 年代末開始進行反應爐爐心的拆除與除役，美國則是從 1990 年代開始。除了開展爐心拆除與除役，還有用過核燃料與放射性廢棄物管理的解決方案，法國歐安諾公司從學到的經驗中受益匪淺。此外，在德國和北美建立的合作夥伴關係，包括與北極星（NorthStar）公司共同設立的美國除役合資企業 Accelerated Decommissioning Partners，都是成功的關鍵因素。

由於拆除與除役工作會為電力公司的資產負債表造成數億歐元的財務負擔，因此從定義上而言，它是一個成本導向的市場。儘管對於核能產業來說是一個巨大的挑戰，並且需求不斷增長，但拆除與除役專家正在開發和實施以成本為導向的創新技術，以改善計畫執行力。憑藉著在德國和美國市場的創新思維與適應能力，拆除與除役專家不僅擴展了他們的解決方案與經驗，並且設計出新的競爭標準和商業模式。運用世界各地的優勢，核能產業都有能力應對各種可能出現的挑戰。

註：法國的歐安諾公司 (Orano) 前身為亞瑞華（Areva）公司，專精於核子材料的開發與放射性廢棄物管理，其業務包括鈾礦開採，轉化和濃縮，用過核燃料再處理，核子物流，除役和工程。

(本文作者 : Philippe Knoche 為歐安諾公司執行長)

資料來源 :

https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Viewpoint-The-positive-role-of-D-D

德國菲利普斯堡
核電廠 2 號機終止運轉

譯 **編輯室**

德國菲利普斯堡（Philippsburg）核電廠 2 號機組已在去（2019）年的最後一天熄燈，整個國家僅剩 6 座核電機組在運轉中，由於德國在 2011 年福島事故後決定在 2022 年關閉境內所有的核電廠，剩餘的機組也將陸續於期限內關閉，以達到非核家園的目標。

菲利普斯堡 2 號機自 1985 年 4 月開始商轉以來，每年生產約 100 億度的電力，在運轉期間則累積生產了 3,550 億度的電力，這約占了巴登符騰堡州（該座核電廠所在地，位在德國西南部）1/6 的電力需求，該部機組的整個除役過程約需要 10 至 15 年的時間。

負責菲利普斯堡與內卡維斯特海姆（Neckarwestheim）核電廠營運的安能集團（EnBW，也稱巴登符騰堡州能源公司），目前已提交菲利普斯堡 2 號機與內卡韋斯特海姆 2 號機的拆除申請，兩座核電廠的 1 號機以及奧布里格海姆（Obrigheim）核電廠均已停止發電，並進行拆除作業中。

由於德國也計畫廢除使用燃煤發電，在 2022 年底關閉境內所有的核電廠將給國家電力與實現氣候目標帶來麻煩，因為德國在未來的 20 年內必須找尋其他替代能源來取代該國超過 40%（燃煤占了超過 30%，剩下的核電則占了 10%）的電力。

德國廢核的結果

最近德國有幾位知名的工業家呼籲政府應延長核電的使用年限，福斯汽車（Volkswagen）的總裁迪斯（Herbert Diess）就是其中一位。迪斯在去年 6 月時就告訴德國《每日鏡報》：「如果我們真的重視氣候變遷這個議題，就應該延長核電廠的運轉期限。」「到 2038 年才關閉德國最後一座燃煤發電廠『已經太晚』了，我們應該先關閉的是燃煤發電廠，不是核能發電廠。」德國《世界報》也在去年 8 月的社論中表示，要確保德國在歐洲能源與氣候政策前段班的位置，德國必須對所有的低碳能源科技，包含核能，存有開放面對的心態，至少是為了我們可預見的將來。

不過，德國總理梅克爾的發言人賽伯特（Steffen Seibert）在去年 12 月重申「政府廢核政策不變」。




左：德國菲利普斯堡核電廠（圖片來源：EnBW）右：2 號機組（圖片來源：維基百科）

美國全國經濟研究院（National Bureau for Economic Research，NBER）在去年底發布了一篇論文，3 位來自美國頂尖大學加州大學聖塔芭芭拉分校、加州大學柏克萊分校以及卡內基美隆大學的經濟學家在這篇論文中檢視了「福島事故後德國關閉近一半的核電廠所帶來的影響。」

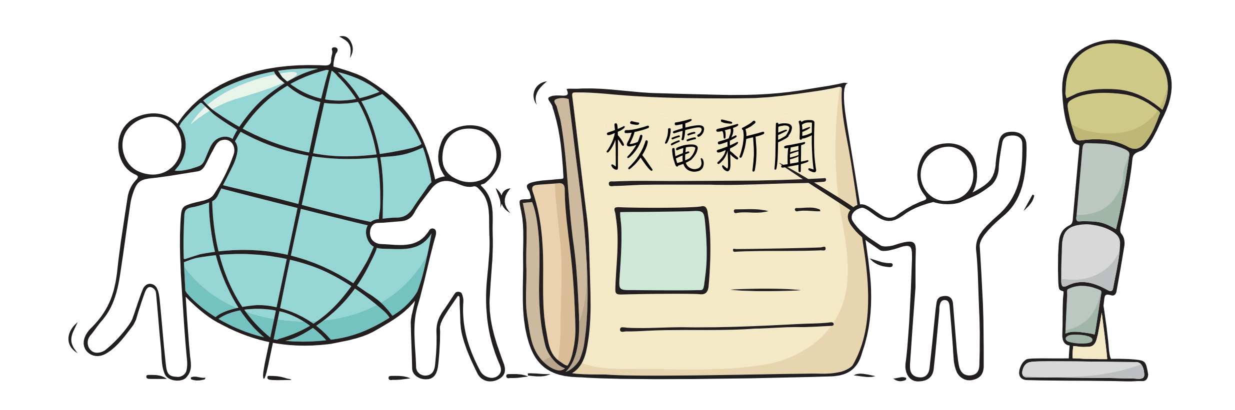
這項名為《德國廢核的私人成本與外部成本（The Private and External Costs of Germany's Nuclear Phase-out）》的研究還發現，德國的電價也因為廢核政策而較高，導致大多數電力生產者獲得的利潤也因此增加，但卻對德國的電力消費者課了額外的稅金。「對於決策者與學者來說，向有投票權的公民傳達『氣候變遷與空氣污染』對於『核災風險與廢棄物處置』的相對成本（即替兩者進行優劣比較）是至關重要的。但是，大眾對曝露在空氣污染下對健康帶來不利影響的認知規模卻非常有限。」該篇論文的作者也計算出，德國廢核所產生的電力缺口主要還是由燃煤發電與進口電力來取代。

論文中還提到，廢核的行為造成了死亡率上升，每年有 1,100 多人因空氣污染而死亡，這些死亡可歸咎於德國占主導地位的燃煤發電，正取代逐漸蕭條的核能發電，導致當地的空氣污染增加了 12%。增加這樣程度的空污，德國每年就必須付出相當於 80.7 億美元的代價，占整個逐步廢核所產生的社會成本（120 億美元）超過 7 成；整個逐步廢核的成本也超過任何的收益，該篇論文的作者統計出逐步廢核收益每年僅 20 億美元，主要是來自不需要管理放射性廢棄物以及避免核子事故發生所產生的成本，遠小於 120 億美元這個金額。

另外，逐步廢核也會對氣候變遷產生破壞作用，該篇論文的作者估計，核電機組的關閉已導致德國每年多排放了 3,630 萬噸的二氧化碳，耗資 18 億美元，與保留核電廠繼續運轉相比多增加了 13% 的排放量。作者群指出，德國再生能源的增加還導致了相當於 76 億美元的空污損失以及 13 億美元的氣候損失。

資料來源：

1. Nuclear Engineering International. "Germany shuts down Philippsburg 2." January 06, 2020.
2. World Nuclear News. "US study estimates costs of German nuclear phase-out." January 03, 2020.
3. Bloomberg Opinion. "Germany Is Wrong About Nuclear Power." June 04, 2019.



國外新聞

歐盟綠色新政忽略的核能的角色

歐盟執行委員會(European Commission)最近通過的歐洲綠色交易投資計畫(European Green Deal Investment Plan),將於未來10年投入1兆歐元的資金,作為綠色新政的一部份,主旨在2050年時達到氣候中和(編註:即不對氣候造成負面影響)。歐盟成員國在去(2019)年12月承諾會綠化自己國家的經濟,以因應氣候變遷,但波蘭此次僅表示將會先評估歐盟提供的財政激勵措施(才會考慮參與達成零碳排放的目標,因波蘭有8成的電力來自燃煤)。

這項能源投資計畫旨在幫助像波蘭這樣的煤炭生產大國減少化石燃料(天然氣除外)的使用。但是,該計畫所提供的資金並不包含金援設立核能發電廠,儘管歐盟國家正在運轉中的126座核電機組提供了他們超過一半以上的低碳電力,核電的使用也讓歐盟每年減少7億噸的二氧化碳排放。

歐盟執委會表示,這項能源投資計畫需要歐盟各成員國政府、公共部門與民營企業投入大量的資金才可達到,期望能動員公眾來進行1兆歐元的募資,並通過歐盟指定的金融計畫—特別是「投資歐盟基金(InvestEU)」,進行貸款審批。由於某些地區將比其他地區受到更大的影響,歐盟執委會也啟動了一項公平過渡機制(Just Transition Mechanism),以提供「量身定做的財務與實際的支持來幫助該地區的勞工,以及在該地區進行必要的投資。」

歐洲核能貿易機構—歐洲核工業貿易協會(Foratom)對協助煤炭使用國家轉型的財政激勵措施表示支持,但對該項資金不金援核電表示遺憾,「限制那些符合申請該項金援的低碳行業將使我們更不容易達到低碳目標」。政府間氣候變化專門委員會(IPCC)、國際能源署(IEA)與歐盟執委會在過去18個月發布的報告結果均顯示「低碳的核能是低碳經濟重要的一部份」,Foratom還說「去年年底有數個成員國明確表示,為了實現2050年的碳中和目標,必須允許他們投資核電建設。因此,我們實在很難為執委會提出這樣的建議作出任何辯護。」

Nuclear Engineering International, 01/16/2020

韓國月城用過核燃料儲存場獲准擴建

韓國核能安全管制機構（NSCC）最近批准韓國水利與核電公司（KHNP）於月城核電廠用過核燃料貯存設施增加額外的容量，因為現有的儲存量已接近滿載。月城核電廠廠內的這座乾式貯存設施主要是用來儲存該電廠內 4 座 CANDU 型反應爐的用過核燃料，用過核燃料在燃料池中儲存 6 年後就會轉移至該貯存設施中進行乾式貯存。

KHNP 在 2010 年時在該電廠所建造的 7 座乾式貯存容器，共可以容納 168,000 束的用過核燃料，但 KHNP 在 2016 年 4 月向管制機構提出再增加 7 座乾式貯存容器的申請。KHNP 表示，截止去（2019）年 9 月，該座乾式貯存設施已使用了 93% 的儲存容量，估計將在 2021 年 11 月時貯滿，若不擴建可能需要讓數部機組離線，暫停運轉。

韓國核安管制機構是根據韓國核能安全研究所的評估結果均符合所有法規要求，且不會對環境造成風險，因而准許該乾式貯存設施擴建。KHNP 預計需要 19 個月來建立另外 7 座的乾式貯存容器，這也代表若新增的乾式貯存容器要在 2021 年 11 月前啟用，建設工程必須於 4 月開始動工。韓國月城核電廠設有 4 部機組，於 1983 至 1999 年間陸續開始商轉，但 KHNP 在 2018 年中以「（持續運轉存有）不確定的經濟可行性」，宣布將提早除役該部運轉執照可至 2022 年的 1 號機，該部機組也於去年底終止運轉。

World Nuclear News, 01/10/2020

日本廣島高院裁定伊方核電廠仍無法重啓運轉

日本廣島高等法院在最近裁定了愛媛縣伊方核電廠 3 號機停止運轉的假處分，由於位在愛媛縣附近的山口縣 3 名居民向山口縣地方法院提起訴訟，聲稱管制機構原子力規制委員會（NRA）的法規不充分，距離電廠 130 公里外阿蘇火山的火山運動對電廠有安全風險，要求停止該部機組的營運。但該地方法院於去（2019）年 3 月判定管制機構的規定適當，該部機組可以繼續營運，而且阿蘇火山爆發的可能性也不高，駁回這 3 位居民的假處分申請。

這 3 位居民在兩週後即對廣島高等法院提出即時抗告，高院在經審理後撤銷山口地院的裁定，並宣布伊方 3 號機組禁止運轉的假處份。高原法官毛利和武（Kazutake Mori）表示，因四國電力公司並未對該地區地質進行完整的調查，且伊方核電廠附近活斷層活動的存在不容忽視，低估了阿蘇火山可能爆發所帶來的影響，毛利也質疑管制機構是否錯誤地核准該部機組的重啟許可。

此為伊方 3 號機組自 2016 年 8 月首次獲准重啟運轉以來，第二度因為假處分無法繼續運轉，上一次為 2017 年 12 月，也是因為相同的原因，但該次的假處分於 2018 年 9 月被撤銷，該部機組得以恢復運轉。營運商四國電力公司對這項裁決表示無法接受，「至目前為止，我們都是根據最新的科學證據向法院斷言伊方核電廠具有足夠的能力來預防火山爆發與地震」，將再次提起上訴。目前伊方 3 號機正在進行定期檢查，原預計將於 4 月底重啟運轉，但如今就算四國電力公司提起上訴，在等待新的判決也將耗費不少時間，無法如期重啟運轉。

World Nuclear News, 01/17/2020

瑞典議會以 1 票的差距駁回林海斯核電廠重啓計畫

瑞典議會（Riksdag）在最近以些微的差距拒絕了林海斯（Ringhals）核電廠兩座最老舊機組的重啟計畫，該座核電廠的 2 號機組已於去（2019）年年底關閉，1 號機則將於今年晚些時候關閉，進入除役的階段。營運商瓦騰福公司（Vattenfall）於 2015 年 10 月宣布，分別於 1976 與 1975 年投入商轉的林海斯 1、2 號機關閉主要是出於營利因素，因此將比原計畫提早 5 年關閉該兩部機組，而目前的計畫是持續營運該座電廠兩部更大且更新的 3、4 號機組，預計將分別運轉至 2041 和 2043 年。

瑞典民主黨在先前提出了一項相關動議，要求政府指示國營的瓦騰福重啟 2 號機，也不要關閉 1 號機，該動議獲得保守的溫和聯合黨、自由黨與基督教民主黨的支持。溫和聯盟黨的約瑟夫森（David Josefsson）在給瑞典總理的書面問題中詢問政府在關閉該兩部機組後將採取哪些措施以實現其二氧化碳排放目標，「2015 年的歐盟排放交易系統內尚無取消的機制，這也是為什麼我們認為政府應重新考慮林海斯核電廠兩部機組是否應關閉，並從更廣泛的角度來做此決定，不應僅從商業的角度來看待。」

該項重啟計畫的提案僅以 1 票遭到否決，有 174 票反對，173 票支持與 2 票缺席票。管制機構瑞典輻射安全局（Swedish Radiation）也在沒多久前就已核准林海斯 2 號機除役，管制機構表示，根據瑞典《核子活動法》的規定，該部機組已不允許再次啟用。

World Nuclear News, 01/23/2020

阿拉伯聯合大公國第一座核電廠將開始裝填燃料

根據阿拉伯聯合大公國（阿聯酋）當地媒體報導，阿聯酋核能公司（The Emirates Nuclear Energy Corporation）預計將於今（2020）年初開始裝填該國第一部核電機組的燃料。阿聯酋核能公司表示，巴拉卡 (Barakah) 核電廠 1 號機正在接受運轉測試與準備，將很快能獲得管制機構阿聯酋聯邦核能安全管制機構（UAE's Federal Authority for Nuclear Regulation）的運轉許可。該部機組在完成燃料裝填後即可開始發電，阿聯酋核能公司將在數個月內逐步實現全面商轉，政府也在準備就該電廠第 2 部機組進行運轉的測試。

巴拉卡核電廠目前正在興建 4 部由韓國電力公司設計的 APR–1400 反應爐，建設計畫的金額高達 244 億美元（近 7,560 億新台幣），建設工程於 2012 年開始，目前已完成超過 93%。一旦 4 部機組全部開始商轉，該座核電廠將可滿足阿聯酋 1/4 的電力需求。

巴拉卡 1 號的建設工程已於 2018 年 3 月完成，最初計劃於 2017 年 8 月開始燃料裝填作業，但阿聯酋核能公司將其推遲至 2018 年，以便有足夠的時間進行國際審查，同時加強工作人員的操作能力。雖然該部機組的營運前全面檢測已於 2018 年初完成，但管制機構仍在審查期間發現了 400 多個問題，因此將重啟的時間再次延後至今年初。

Nuclear Engineering International, 01/09/2020

國內新聞

核電廠延役或重啓都須面對核廢處置問題

針對媒體投書討論核能延役及核四存廢議題，台電公司重申，無論是核能延役及核四重啟，都必須面對放射性廢棄物處置的問題。台電表示，自107年底公投結果出爐後，台電對核能議題已歸零思考並務實檢視各種可能性，然而放射性廢棄物何去何從及如何處置，至今社會仍無共識，台電目前能做的就是努力讓營運中的核電廠在執照限期內安全運轉，並遵循政府推動的「非核家園」及「能源轉型」政策，確保供電穩定無虞。

目前除了核一廠已進入除役階段外，核二廠早已超過延役法規申請期限；核三廠部分，地方政府已公開表態反對延役。因此，可以預見核能延役將遭遇種種棘手的難題。即便前述問題獲得解決，放射性廢棄物處置仍須面對下列困境：地方政府不願辦理低放處置場選址公投、乾貯設施興建水保許可遲遲未獲核准，以及社會各界對放射性廢棄物處置未達成共識。

台電表示，現階段會努力做好核四廠資產維護管理，同時確保營運中的核電廠在執照限期內安全運轉。

本刊訊，2020/1/1

放射性廢棄物貯存地點尚未定案

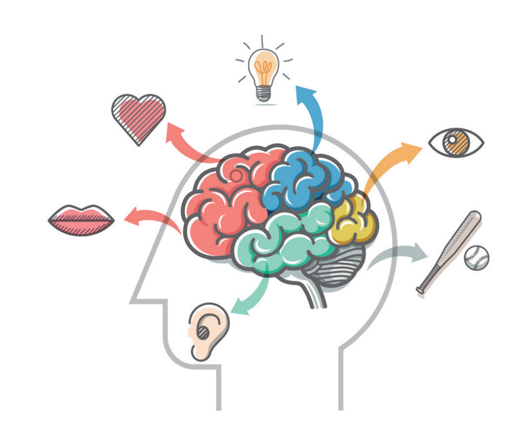
針對網傳台電已規劃低放射性廢棄物貯存地點，台電回應，目前僅初步排除不應或不宜設立中期貯存設施的區域，尚無定案。台電後續將以「公正的組織」、「客觀的標準」及「公開參與的程序」3原則進行選址作業，也呼籲各界共同面對放射性廢棄物處理的課題。

依據非核家園推動專案小組決議，目前優先推動集中式中期貯存設施。而設施選址必須依照原能會訂定的「集中式放射性廢棄物貯存設施場址規範」，先排除法規明定應禁止設立或避免設立的區域，如活動斷層兩側一定範圍、水庫集水區、土壤液化區等均不得設置，才能進行後續選址程序。如為原住民族保護區，亦須尊重「原住民族意願」。

網傳台電已規劃設施設立地點，台電表示這是錯假訊息。未來將積極展開溝通，至於具體內容，包括貯存的形式，將於後續會議中討論與規劃。

本刊訊，2020/1/1



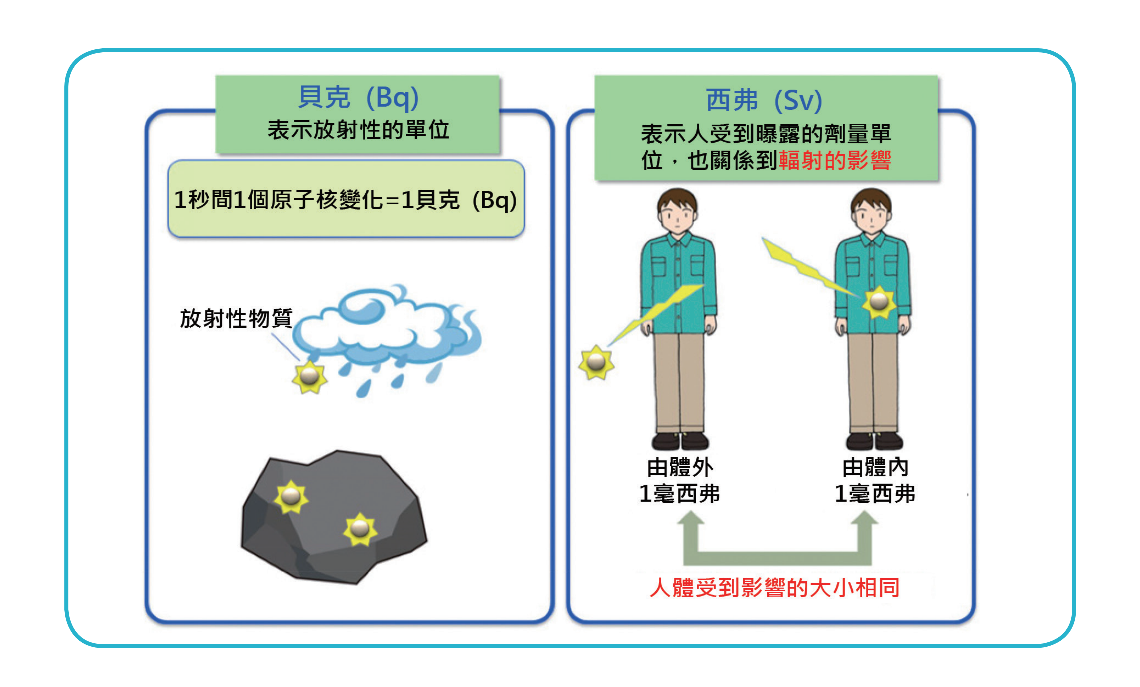


什麼是放射性與輻射？(18)

譯 朱鐵吉

Q 什麼是貝克與西弗？

A 輻射的單位中最常見的是貝克 (Bq) 和西弗 (Sv)。貝克是表示輻射放出量的強度。土壤、食品、飲用水等含有放射性物質的量都是以貝克表示。貝克的數值若大，意味著會放出很多的輻射。西弗則是用來衡量輻射劑量對生物組織的影響程度、受到輻射照射導致生物當量的單位。西弗的數字若大，人體受到輻射的影響就大。(註：「當量」是在化學或生物科學中使用的單位，用於表示物質的量。)



人體受到輻射影響表現的部分有體外曝露、體內曝露、全身曝露、局部曝露等方式。不同輻射的種類會產生不同的曝露，這些劑量單位都是以西弗表示，可以比較影響人體的健康情形。

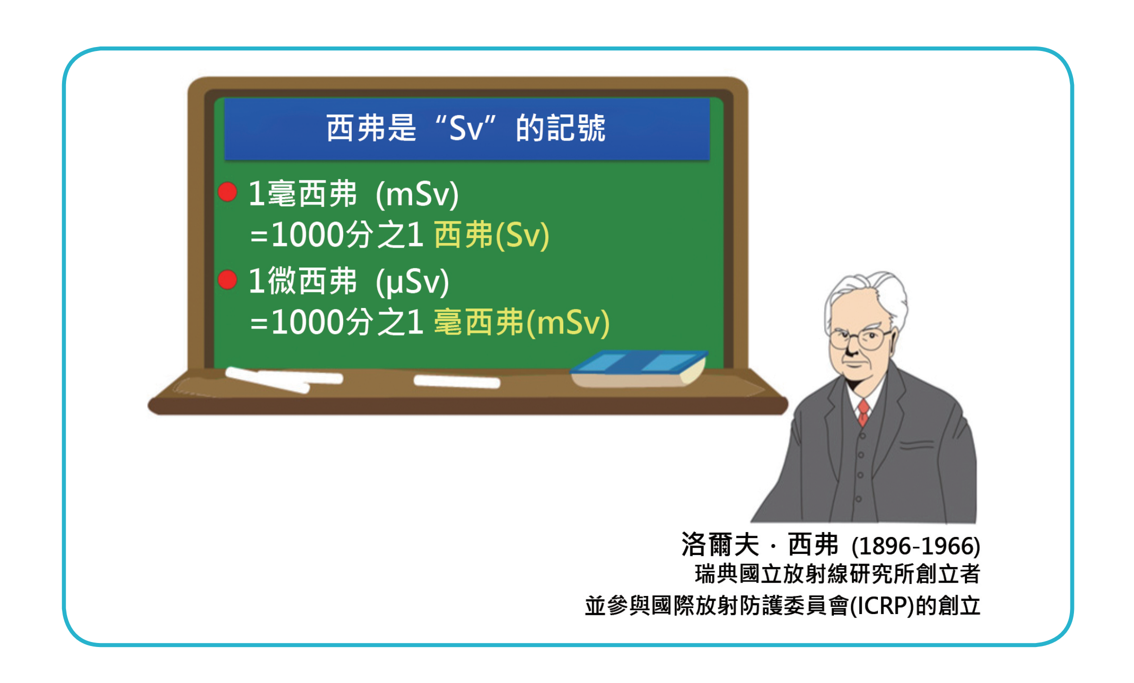
當體外受到 1 毫西弗 (mSv)，或體內受到 1 毫西弗輻射曝露時，對健康影響的程度相同。體外與體內曝露各別受到 1 毫西弗時，可以合併為 2 毫西弗。

Q 西弗的由來？

A 西弗這個單位，是紀念瑞典放射防護研究專家西弗（Rolf Maximilian Sievert）先生而創設。他是國際放射防護委員會（ICRP）的前身國際 X 射線及鐳防護委員會（IXRPC）的主席，曾經參與策畫創立 ICRP。1 西弗的千分之一稱為 1 毫西弗，100 萬分之一西弗稱為 1 微西弗。

貝克（放射性單位）、居里（專用放射性單位）、戈雷（吸收劑量的單位），這些都是以研究輻射方面的優秀科學家的姓名作為單位的命名。

註:國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP, 1928 年成立。)
(參考文獻:ICRP Publication 109, The History of ICRP and the Evolution of its Policies, ICRP,2009)



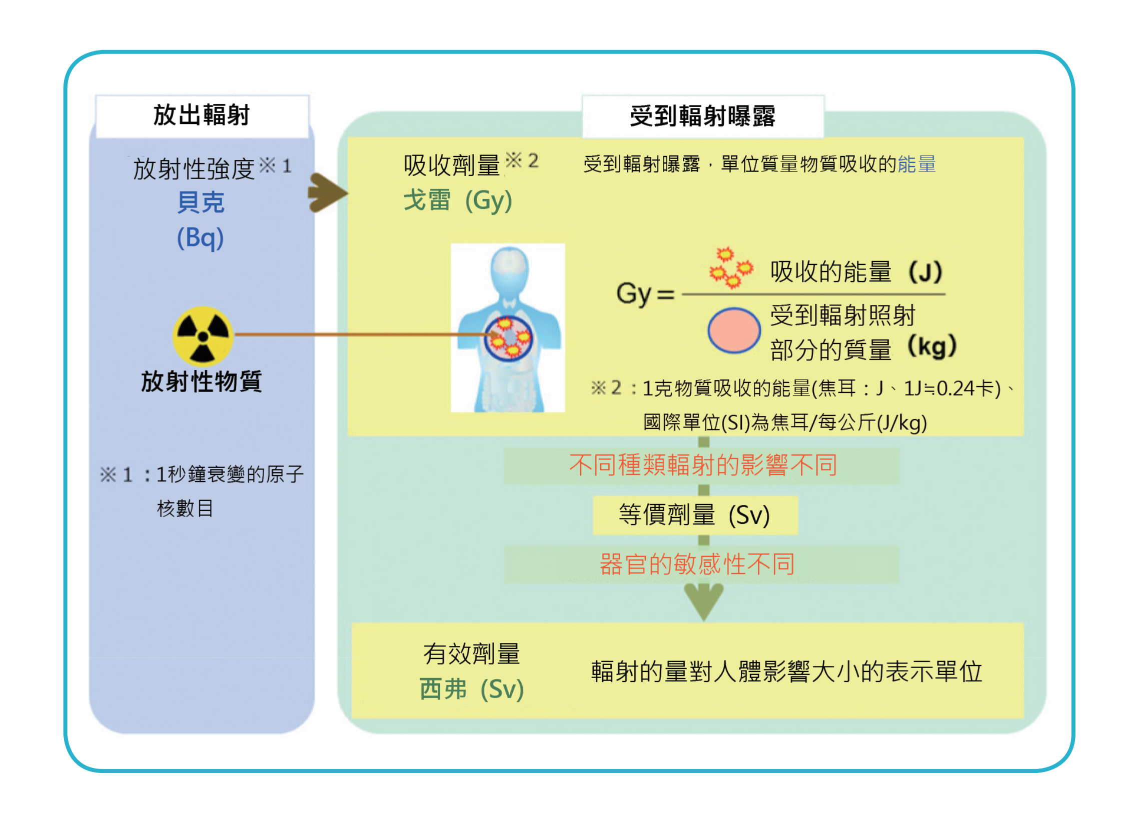
洛爾夫．西弗 (1896-1966)
瑞典國立放射線研究所創立者
並參與國際放射防護委員會(ICRP)的創立



輻射單位之間的關係是什麼？

A 放出輻射的單位與受到輻射曝露的劑量單位不同。輻射放射性放出輻射的單位是以貝克表示，接受輻射曝露的劑量單位是以戈雷和西弗表示。輻射通過的地方，輻射中的能量會被吸收，這些吸收的劑量單位則以戈雷 (Gy) 表示。

因輻射的種類與能量的不同，人體接受到同樣的吸收劑量 (戈雷)，在不同器官或組織的影響也不同。所以放射線因種類的不同，需要再加上考慮的影響因素，而換算成為等價劑量（西弗）。有效劑量（西弗）是為因應輻射防護的管理而考量的劑量。器官及組織的輻射敏感性不同，以等價劑量表示，全身的劑量則以有效劑量表示。

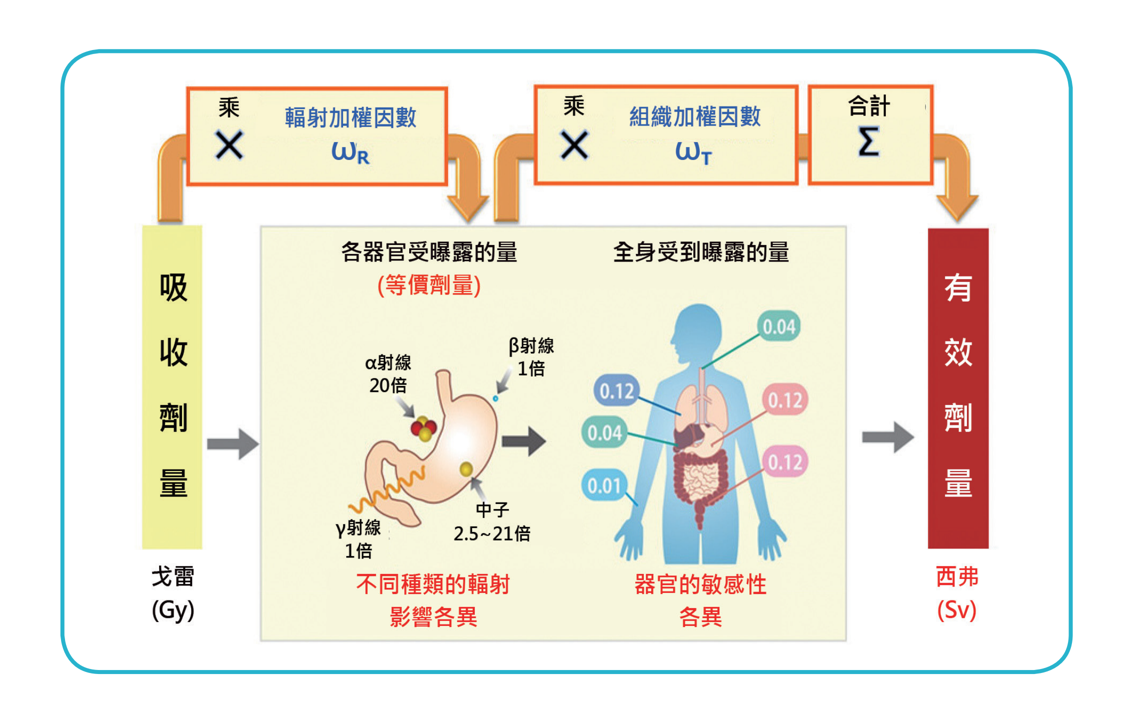


Q 如何從戈雷換算至西弗？

A 輻射曝露對全身的影響以有效劑量表示。首先，對被曝露的組織器官計算出受曝露的量，以各器官及組織的吸收劑量（$D_{T,R}$）乘以輻射加權因數（ω_R）等於等價劑量（$H_{T,R}$）。輻射加權因數對人體影響比較大的為 α 射線，等於 20，β 射線及 γ 射線則等於 1。

輻射曝露對組織及器官計算出等價劑量後，由於器官或組織對輻射的敏感性不同，而計算出其致死及罹患癌症的危害因數，稱為組織加權因數（ω_T），組織加權因數合計其危害度總計為 1。有效劑量：對一個受輻射曝露的個人，全部機率效應的危險反應在有效劑量，定義為對所有組織進行加權的等價劑量之和（$E=\Sigma\,\omega_T \cdot H_T$）。

體內外曝露的劑量均可以用有效劑量計算。



本單元資料來源：日本環境省《輻射的基礎知識與健康影響》第二章：輻射曝露，p34-37, 2016